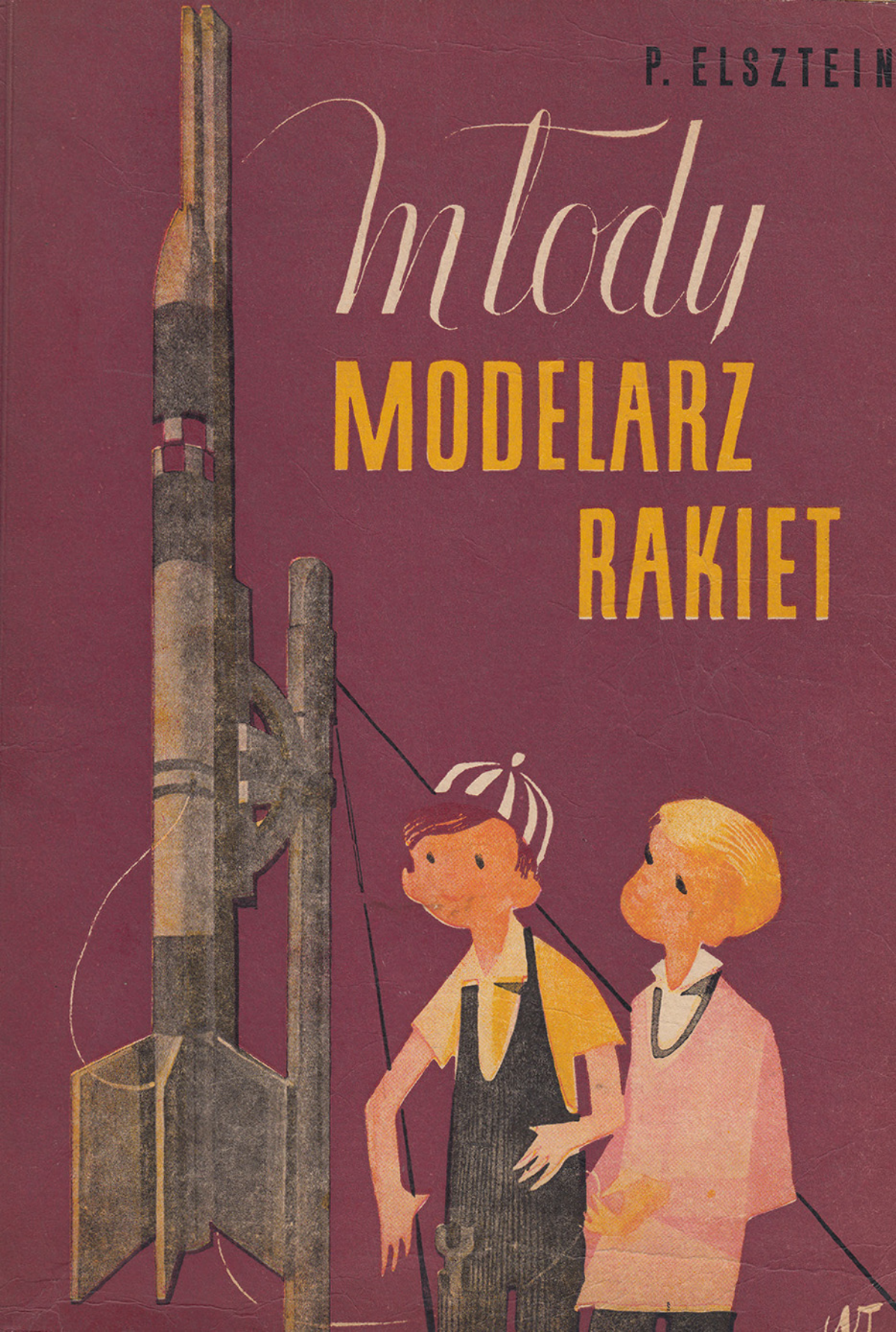
P. ELSZTEIN

Młody MODELARZ RAKIET



PAWEŁ ELSZTEIN

MŁODY MODELARZ RAKIET

WYDAWNICTWA NAUKOWO-TECHNICZNE
WARSZAWA

Opiniodawca
mgr inż. Jacek Walczewski

Redaktor naukowy WNT
inż. Witold Czetwertyński

629.1.035.4:689

Książka zawiera ujęte praktycznie opisy budowy makiet rakietowych, modeli redukcyjnych oraz rakiet z własnym napędem, a także konstrukcje silników, wyrzutni i rozmaitych urządzeń pomocniczych.

Liczne rysunki w tekście ułatwiają projektowanie i budowę modeli rakiet, a przystępne wyjaśnienia teoretyczne — zrozumienie tajników nowoczesnej i atrakcyjnej dziedziny techniki.

Książka jest przeznaczona dla amatorów rakietnictwa pracujących w zespołach prowadzonych przez instruktorów, jednak w części omawiającej budowę makiet i rakiet bez napędu (rozdz. II, III i IV) może być wykorzystana przez ogół młodych techników.

Zdjęcia w tekście: *P. Elszteina, B. Koszewskiego, St. Wdowińskiego, J. Mirskiego, A. A. Mroczka*

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE

Printed in Poland

Okładkę projektował *A. Zbrożek*

Redaktor techniczny *F. Bondaruk*

Korektor techniczny *H. Kostrzeń, E. Gontarz*

WNT Warszawa 1963. Wydanie 1. Nakład 10.190. Ark. wyd. 15,7. Ark druk. 17,96/A. Format B5. Pap. ilustr. kl.V 70 g. Oddano do składania 29. 4. 1963. Podpisano do druku w sierpniu 1963. Druk ukończono w sierpniu 1963. Symbol 76863/Tw Cena zł 18.—

Bielskie Zakłady Graficzne, Bielsko-Biała, ul. Grunwaldzka 6
Zam. 1316/63 — D-018

SPIS TREŚCI

Wstęp str. 5

Rozdział I. Ogólne wiadomości o rakietach 7

1. Zapoznajemy się z rakietą 7
2. Pierwsze doświadczenie silnikowe 10
3. Kilka informacji o powietrzu 12
4. Dwa łyki aerodynamiki 16
5. Stateczność rakiet w locie 33

Rozdział II. Modele redukcyjne i makiety rakiet 47

1. Modele redukcyjne rakiet 47
2. Makiety rakiet 63

Rozdział III. Modele rakiet bez napędu własnego 79

1. Podstawowe wiadomości 79
2. Regulowanie lotu modeli 94

Rozdział IV. Prymitywne rakiety z napędem własnym 97

1. Rakieta wodno-powietrzna 97
2. Pierwsza rakieta na paliwo stałe 104
3. Rakiety z silnikami na paliwo stałe produkcji fabrycznej 115

Rozdział V. Rakiety amatorskie 125

1. Paliwa do silników rakiet amatorskich 125
2. Elektryczne urządzenia zapłonowe 133
3. Wyrzutnie 139
4. Przegląd konstrukcyjny rakiet amatorskich . . . 140

Rozdział VI. Wyposażenie rakiet amatorskich 161

1. Spadochrony 161
2. Automaty odłączające drugi stopień 166
3. Przyspieszeniograf 169
4. Telemetria 169
5. Sygnalizacja świetlna 171
6. Urządzenia smugowe 171
7. Aparat fotograficzny 174

Rozdział VII. Przedstartowe próby rakiet 177

1. Wiadomości podstawowe 177
2. Teoretyczny tor lotu rakiety 187
3. Teren prób 189

4. Organizacja startu 190
5. Bezpieczeństwo 191

Rozdział VIII. Pomiary osiągów rakiet 197
1. Pomiar wysokości lotu 198
2. Pomiar miejsca upadku rakiety 206
3. Wykorzystanie aparatów foto i filmowych . . . 206
4. Pomiary przy użyciu fal radiowych 208

Krótki słownik rakietnictwa amatorskiego 211

Wykaz literatury 216

Wstęp

Zainteresowanie techniką rakietową i związaną z nią ściśle astronautyką ogarnia coraz liczniejsze grupy młodzieży. Jedni dla wrażeń czysto sportowych, inni dla nauki czy zabawy usiłują budować różne rakiety, często narażając życie swoje i otoczenia, gdyż pracują bez odpowiedniego przygotowania — na oślep.

Ileż to razy dzienniki podają alarmujące wiadomości o tragicznych skutkach eksperymentowania z rakietami napędzanymi nieokreślonego pochodzenia, środkami wybuchowymi. Eksperymenty kończyły się w „najlepszym" przypadku ciężkim kalectwem.

Tymczasem budowa małych rakiet stać się może bezpiecznym, niezwykle pożytecznym zajęciem młodych konstruktorów, pod warunkiem posiadania pewnego zapasu wiedzy niezbędnego do projektowania, budowy, a szczególnie do obsługi silników i rakiet amatorskich.

Celem niniejszej książki jest zapoznanie młodych konstruktorów poprzez budowę najprostszych małych rakiet z techniką rakietową. Budowa małych rakiet nie jest tylko zabawą, hobby czy sportem. Może być natomiast przygotowaniem do późniejszych prac naukowych.

W małym rakietnictwie (rakietnictwie amatorskim) rządzą specyficzne prawa, których nie napotykamy w innych dziedzinach modelarstwa, np. lotniczego bądź okrętowego. Prawa te obarczają konstruktora wyjątkowo dużą odpowiedzialnością za czynione eksperymenty. Tylko młodzież zdyscyplinowana i chętna do nauki ma tu szanse sukcesów.

W książce niniejszej starano się podsumować doświadczenia własne i obce, przy czym najwięcej uwagi poświęcono praktycznej stronie zagadnienia.

* * *

Zainteresowanie budową rakiet amatorskich w Polsce przypada na lata 1955—1956. Powstają pierwsze konstrukcje, modelarskie raczej, z silnikami na taśmę filmową, wykorzystujące doświadczenie zagraniczne (w większości radzieckie). Inicjatorami budowy małych rakiet są w tym okresie harcerze, inspirowani przez Wydział Lotniczy Kwatery Głównej.

Wzmożenie zainteresowania następuje po wystrzeleniu pierwszych radzieckich rakiet ze sztucznymi satelitami, to jest w końcu 1957 roku. Ukazują się publikacje modelarsko-rakietowe w tygodniku „Skrzydlata Polska", i skrypt instruktażowy wydany przez ZHP.

Na przełomie lat 1956—1957 powstaje przy krakowskim oddziale Polskiego Towarzystwa Astronautycznego Komórka Techniki Rakietowej, skupiająca studentów Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (i pracująca przy tej uczelni). Komórka ta stawiająca sobie za cel prace badawcze z dziedziny rakietnictwa, wkrótce, bo 10 października 1958 roku wystrzela pierwsze doświadczalne rakiety meteorologiczne noszące oznaczenie RM-1 (RM — rakieta meteorologiczna). W dniu 7 września 1959 r. następuje start rakiety RM-2A, a 6 października 1960 roku startuje pierwsza w Polsce rakieta pocztowa RM2-P.

Od 1960 roku prace grupy krakowskiej organicznie związanej z Aeroklubem Krakowskim dokonywane są w ramach działalności Aerokluku PRL. Doświadczalny Ośrodek Techniki Rakietowej APRL prowadzi oprócz prac badawczych akcje szkoleniowe i instruktażowe.

W 1960 roku Liga Przyjaciół Żołnierza organizuje w Warszawie kurs instruktorów rakietnictwa włączając rakietnictwo amatorskie do programu swej działalności politechnizacyjnej.

W 1961 roku powstaje Śląski Klub Techniki Rakietowej skupiający młodzież z Pałacu Młodzieży w Katowicach. W tym też roku LPŻ rozpisuje konkurs na projekt amatorskiego silnika rakietowego i wydaje skrypt o podstawach małego rakietnictwa. W roku 1961 na wystawie twórczości modelarskiej zorganizowanej w Muzeum NOT w Warszawie pojawiają się pierwsze modele rakiet: redukcyjne, fantazyjne i latające (startujące z wyrzutni gumowej).

Obok większych zgrupowań pracujących w opraciu o dwie organizacje społeczne APRL i LOK (dawny LPŻ) powstają ośrodki mniejsze, specjalizujące się w małym rakietnictwie. Do takich zaliczyć trzeba m.in. ośrodek w Starachowicach podlegający Aeroklubowi Radomskiemu i ośrodek w Chrzanowie podlegający Aeroklubowi Krakowskiemu.

Do 1961 r. największe skupienie ośrodków zainteresowanych rakietnictwem amatorskim zaobserwować można było na Śląsku i w okręgu krakowskim. W 1962 r. zostały zorganizowane pierwsze zawody rakiet amatorskich o puchar im. K. Siemienowicza, pioniera rakietnictwa polskiego. Zawody skupiające 120 zawodników organizował Aeroklub Krakowski. W końcu roku 1962 na posiedzeniu Komisji modelarskiej FAI (FAI — Międzynarodowa Federacja Lotnicza) w Paryżu włączono małe rakietnictwo jako nową dyscyplinę sportu modelarskiego.

Działalność Polskiego Towarzystwa Astronautycznego i wspomnianych dwu organizacji (APRL i LOK) i innych, prowadzi do popularyzacji zagadnień związanych z techniką rakietową. Temu też celowi chciałaby służyć niniejsza książka.

AUTOR

ROZDZIAŁ I

OGÓLNE WIADOMOŚCI O RAKIETACH

1. Zapoznajemy się z rakietą

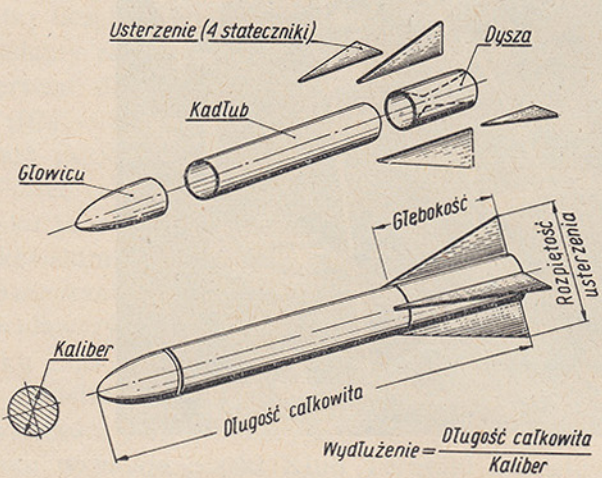
Rakiety mogą być bardzo skomplikowanymi statkami kosmicznymi, jak na przykład te, które wyniosły na orbitę okołoziemską kosmonautów: Gagarina, Glenna i ich następców. Mogą też mieć rozmiary miniaturowe, na przykład tzw. „ogni sztucznych" (rakiet świetlnych) podziwianych przy okazji zabaw ludowych.

Wszystkie rakiety, te najmniejsze — fabrycznej bądź amatorskiej produkcji — i wielkie, których opracowanie wymaga ogromnego nakładu sił i środków, mają jedną wspólną cechę: poruszają się według tej samej zasady, nie różniąc się pod tym względem od swych poprzedniczek sprzed 1000 lat.

Pomijając rakiety o zastosowaniu specjalnym, zajmować się będziemy małymi rakietami, możliwymi do wykonania dostępnymi środkami amatorskimi. Jeśli chodzi o nomenklaturę celowo unikamy określenia „model" dla małych rakiet amatorskich, gdyż modelami są wyłącznie zminiaturyzowane kopie rakiet służące celom raczej statycznym. Wielkość danej rakiety absolutnie nie oznacza, że może mieć ona gorsze osiągi (tj. siłę ciągu, wysokość wznoszenia itd.). Są rakiety o długości nie przekracza-

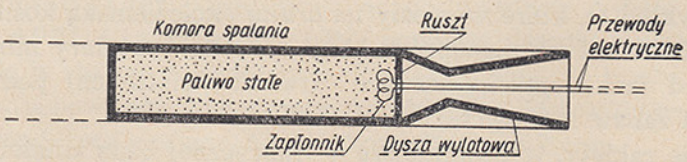
jącej 0,25 m i średnicy normalnego ołówka, które wznoszą się na wysokości rzędu paru tysięcy metrów, dysponując kilkukilogramowym ciągiem.

Spójrzmy jak wygląda obecnie typowa rakieta amatorska (na paliwo stałe), przedmiot naszego zainteresowania. Ma ona niewiele części zasadniczych: głowicę, kadłub, silnik i usterzenie. Części te oraz zmontowaną rakietę widzimy na rysunku 1.



Rys. 1. Zasadnicze części składowe rakiety amatorskiej i podstawowe określenia

Silnik (rys. 2) składa się z komory spalania wypełnionej paliwem, dyszy wylotowej, urządzenia zapłonowego (zapłonnika) i przegrody tzw. rusztu. Przy okazji możemy nauczyć się rózróżniać: *długość* całko-



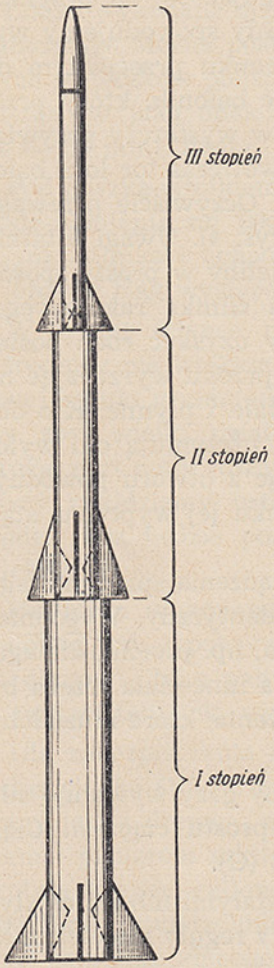
Rys. 2. Schemat silnika rakietowego

witą rakiety i jej *kaliber* (czyli maksymalną średnicę) oraz stosunek długości do kalibru, czyli tzw. *wydłużenie*. Pojęcia te również zaznaczono na rys. 1.

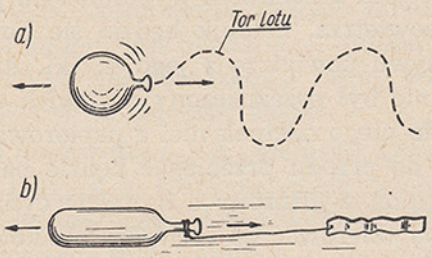
Każda część rakiety ma swoje przeznaczenie. I tak: głowica umożliwia umieszczenie w jej wnętrzu różnych urządzeń pomocniczych (np. spadochronu), poza tym odpowiednie jej ukształtowanie ułatwia poruszanie się rakiety w powietrzu. Kadłub jest jakby kręgosłupem całej rakiety mieszcząc poza tym w swym wnętrzu zbiorniki paliwa lub też tworząc komorę spalania; usterzenie ustatecznia rakietę podczas lotu, aby leciała tak jak

dobra strzała wypuszczona z łuku. Z kolei silnik umożliwia spalanie paliwa wywołując konieczny odrzut — ruch postępowy rakiety.

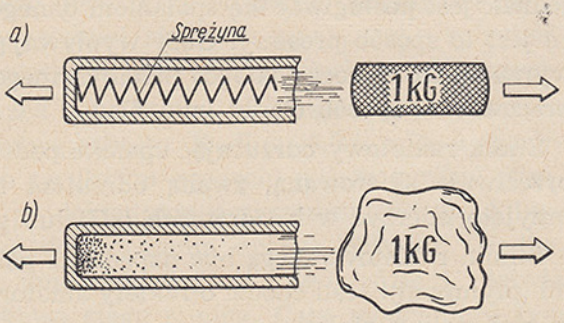
Opisana rakieta jest złożona z jednego członu napędowego; nazywa się zatem jednostopniową w odróżnieniu od rakiet złożonych z kilku stopni kolejno uruchamiających swoje silniki. Stopniem pierwszym jest zazwyczaj duża rakieta złączona z kolejno mniejszymi rakietami tworzącymi



Rys. 3. Rakieta wielostopniowa o trzech członach napędowych



Rys. 4. Eksperyment z balonikami dla wyjaśnienia zasady odrzutu: a) —tor lotu balonika kulistego, b) — tor lotu balonika cylindrycznego z uwiązaną doń taśmą papieru



Rys. 5. a) dla uzyskania ruchu do przodu można wyrzucać ciała stałe lub płynne przy użyciu np. sprężyny, b) lepszy efekt daje spalanie paliwa

np. dwa, trzy lub cztery stopnie. Rakieta tego rodzaju jest w stanie osiągnąć znacznie większą wysokość (mowa o ostatnim stopniu) niż rakieta jednostopniowa. Dotyczy to zarówno rakiet wielkich, umieszczających sztuczne satelity na orbicie okołoziemskiej, jak i małych (rys. 3).

A teraz kilka słów o pracy silnika rakietowego.

Trzecia zasada dynamiki ustalona przez Izaaka Newtona głosi, że każda akcja równa jest reakcji, czyli działanie równe jest przeciwdziałaniu, lecz siły te są skierowane przeciwnie. W silniku rakietowym wykorzystuje się w niezmiernie prosty sposób tę właśnie zasadę odkrytą przez genialnego uczonego: wyrzuca się gorące gazy lub inny czynnik do tyłu, aby uzyskać ruch rakiety do przodu.

Zasadę powyższą można łatwo sprawdzić posługując się na przykład gumowym balonikiem wypełnionym powietrzem. Gdy spowodujemy wylot powietrza, balonik będzie się poruszał w kierunku przeciwnym do wypływu powietrza z jego szyjki. Aby ustatecznić balonik, który przecież nie był przeznaczony do takich eksperymentów wystarczy przywiązać do niego odcinek nici z papierową wstążką, a wówczas tor lotu balonika do przodu przebiegać będzie bardziej płasko. Oczywiście przewagę ma balon wydłużony o kształcie cylindrycznym (rys. 4). Uwagi ostatnie można skierować do tych Czytelników, którzy chcieliby w prosty sposób zademonstrować swoim kolegom zasadę działania silnika rakietowego.

Czy koniecznie musimy wyrzucać jakiś gaz, aby uzyskać ruch postępowy? Oczywiście nie. Możemy wywołać ruch do przodu wyrzucając na przykład groch, kamyki, lub inne dowolne ciała stałe i płynne. Kto obserwował strażaków w akcji, wie z jakim trudem utrzymują oni wylot węża pożarniczego (prądownicy). Woda wypływając z otworu powoduje powstawanie siły przeciwnie skierowanej do kierunku jej wypływu, stąd trudność w utrzymaniu węża.

Z rakiety można by np. wyrzucać za pomocą urządzenia sprężynowego piasek albo ziarnka grochu — efekt ruchu byłby identyczny. Wygodniej jednak jest posługiwać się spalaniem danego paliwa, np. prochu, dlatego, że jest to sposób prostszy. Gazy wypływają same, a inne ciała trzeba by wyrzucać za pomocą jakiegoś przemyślanego urządzenia, które musiałoby pracować w sposób ciągły (rys. 5).

Silnik rakietowy odrzucając spalone podczas pracy gazy wywołuje siłę przeciwnie skierowaną, zwaną *odrzutem* lub po prostu *ciągiem*. Ciąg przyjęto mierzyć w kilogramach (kG) lub gramach (G).

Silniki rakietowe mogą być napędzane paliwami stałymi lub też ciekłymi (płynnymi). Jeśli chodzi o rakiety amatorskie, to z reguły stosowane są w nich paliwa stałe.

2. Pierwsze doświadczenie silnikowe

Po wstępnym zapoznaniu się z rakietą warto wykonać małe doświadczenie. W doświadczeniu tym posłużymy się bardziej sprawnym modelem niż uprzednio wymieniony balonik. Modelem tym będzie łódka poruszana wodno-parowym silnikiem odrzutowym. Łódka z tego rodzaju napędem nie jest współczesnym wynalazkiem (została opatentowana 125 lat temu

przez Anglika Perkinsa), ale doskonale umożliwia obserwację działania ciągu najprymitywniejszego silnika odrzutowego. Zamiast łódki można naturalnie wykonać model samochodu. Łódkę wybrano ze względu na większe bezpieczeństwo p-pożarowe oraz dlatego, że maleńki silniczek nie byłby w stanie unieść nawet najmniejszej rakiety w powietrze. Eksperymentować będziemy mając odpowiednie naczynie z wodą, np. wanienkę lub miskę.

Łódka wykonana może być z lekkiego drewna (np. sosny) lub tworzywa sztucznego. Można posłużyć się gotowym kadłubem od małych zabawkowych stateczków polistyrenowych. Silnikiem jest blaszana — aluminiowa puszka (w jaką opakowywane są zwykle małoobrazkowe taśmy filmowe — 35 mm). Puszka wypełniona jest w $^1/_4$ objętości wodą.

Pod puszką-silnikiem na pokładzie umieszczone jest palenisko. Ogrzana woda zamienia się jak wiadomo w parę, a ta rozprężając się działa na ścianki silnika i uchodzi z dużą prędkością przez dyszę wylotową dając w efekcie ciąg wystarczający do poruszenia małej łódki.

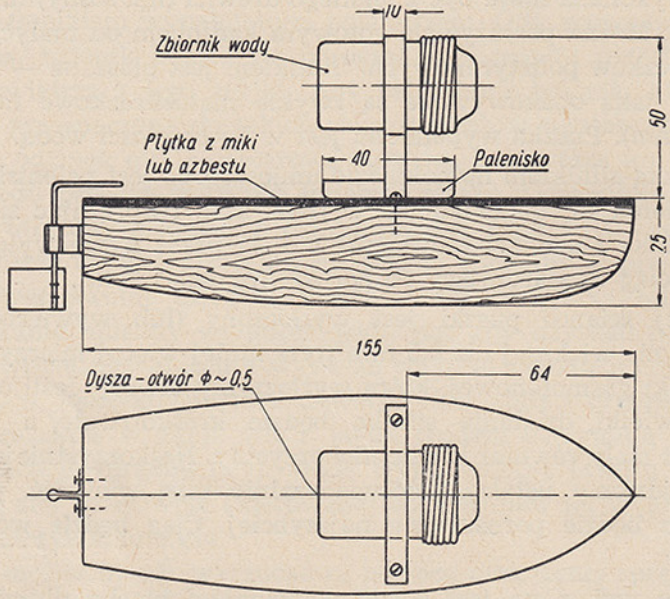
W tylnej ściance puszki jest wytłoczony (lub wywiercony) otwór o średnicy nie większej niż 0,5 mm (tyle mniej więcej mierzy ostrze stalowej szpilki gramofonowej, którą wytłoczymy otwór). Jeśli otwór zrobimy zbyt wielki, działanie silnika będzie krótkotrwałe, a ciąg słaby. Otwór zbyt mały również będzie niekorzystny. Najkorzystniejszą średnicę dyszy znajdziemy ustalając doświadczalnie taką wielkość, przy której model nasz będzie poruszał się najszybciej. Ciąg będzie wówczas największy.

Palenisko wykonane jest z odcinka cienkiej blachy aluminiowej lub stalowej (np. z pokrywki małego pudełeczka od maści, kremu lub pasty do obuwia). Jako paliwo najwygodniej stosować tzw. „suchy spirytus" w postaci tabletek, używany często w małych kocherach turystycznych.

Dla zabezpieczenia łódki przed zapaleniem, na pokładzie przyklejono jedną cienką (1,5—2 mm) warstwę azbestu. Kadłub łódki, o ile wykonywany jest z drewna, należy po zgrubnym wycięciu nożem obrobić pilnikiem i papierem szklistym, a po dokładnym oczyszczeniu powlec kilkakrotnie klejem cellonowym aż do uzyskania dużego połysku. Gładka, lustrzana powierzchnia łódki, zmniejsza jej opór w wodzie i ułatwia wykorzystanie słabego stosunkowo ciągu silnika. Cały model przy tym staramy się wykonać tak, aby był jak najlżejszy. Konstrukcja łódki uwidoczniona jest na rysunku 6. Rysunek ten warto powiększyć do wielkości naturalnej, posługując się podanymi wymiarami. Ułatwi to budowę modelu.

Jak widać z rysunku, zbiornik wody ma wkręcaną przykrywkę. Dla uszczelnienia tego niezbyt pewnego połączenia warto w miejscu styku przykrywki z puszką podłożyć krążek gumowy ściśle wypełniający średnicę przykrywki.

Po napełnieniu zbiorniczka wodą zapalamy spirytus na palenisku. Tę ostatnią czynność oczywiście wykonujemy wówczas, gdy łódka stoi na wodzie. Po kilkudziesięciu sekundach woda w zbiorniku zaczyna wrzeć i przez dyszę będzie się wydobywać cienka strużka pary. Teraz możemy ustawić ster tak, aby łódeczka krążyła i w ciągu kilku minut (od 2 do 4) będziemy obserwować działanie najprymitywniejszego silnika odrzutowego.



Rys. 6. Łódka z napędem wodno-parowym

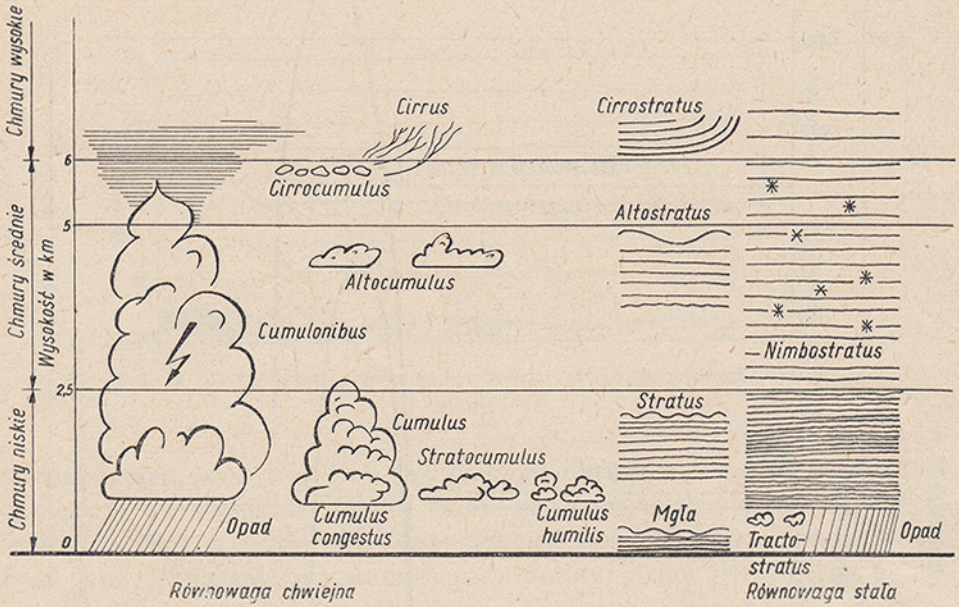
W następnych rozdziałach zapoznamy się z innymi, bardziej skomplikowanymi silnikami rakietowymi, ale zasada ich pracy będzie identyczna jak w przeprowadzonym doświadczeniu.

3. Kilka informacji o powietrzu

Rakiety nasze poruszać się będą w atmosferze otaczającej kulę ziemską, czyli mówiąc popularnie — w powietrzu. Dlatego też powinniśmy bliżej zapoznać się z jego właściwościami. Atmosfera ta jest mieszaniną gazów: tlenu (21%) i azotu (78%) oraz niewielkiej ilości argonu, bezwodnika kwasu węglowego, wodoru, neonu, kryptonu, helu i ksenonu.

Powietrze ma szereg charakterystycznych cech, które warto poznać. Jak wiadomo, powietrze ma swój ciężar zależny od ciśnienia atmosferycznego i temperatury. Przy +15°C i ciśnieniu 760 mm sł. rtęci 1 m^3 powietrza waży 1,226 kG. Tuż przy Ziemi powietrze jest znacznie bardziej gęste niż na dużych wysokościach. Latem powietrze jest ciepłe i rzadkie, zimą zaś chłodne i gęste.

Temperatura powietrza zmienia się nie tylko w zależności od pory roku. Inna jest w pobliżu podłoża, a inna na wysokości np. 5 km. Średnio co 100 m temperatura obniża się o około 1 °C. Wskutek różnicy ciśnienia i temperatury powietrze ulega ruchom poziomym, równoległym do Ziemi, które określamy mianem wiatrów oraz ruchom pionowym, które zwiemy prądami konwekcyjnymi, cieplnymi.



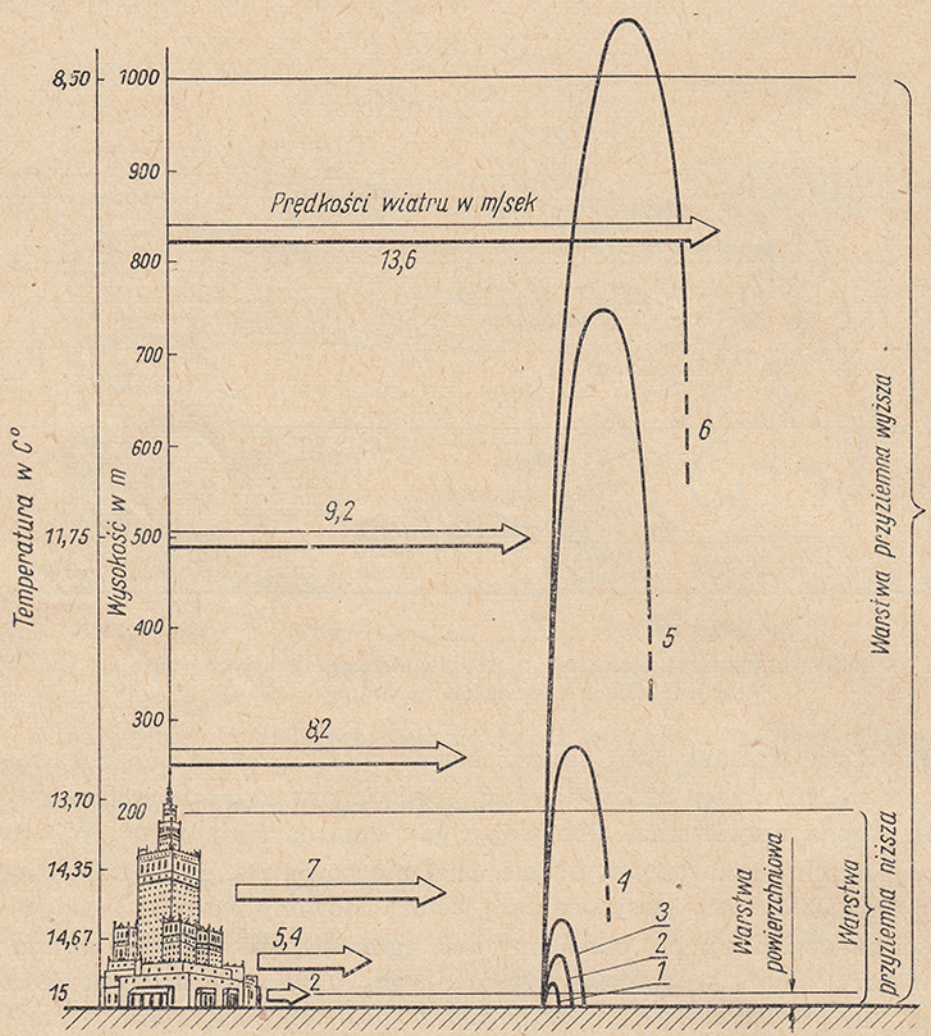
Rys. 7. Pionowy przekrój atmosfery z uwzględnieniem typowych rodzajów chmur w warunkach równowagi chwiejnej i stałej

Powietrze wskutek swej gęstości stawia opór ciałom w nim poruszającym się. Łatwo ten fakt stwierdzić biegnąc z otwartym parasolem, gdy jest pogoda bezwietrzna, albo stojąc gdy dmucha silny wiatr. W obu przypadkach odczuwamy wyraźnie działanie powietrza. Powietrze może być mniej lub więcej nasycone parą wodną. Mówimy wówczas o wilgotności bezwzględnej, gdy określamy ilość (gramów) pary wodnej w 1 m^3 powietrza, albo o wilgotności względnej, gdy określamy stosunek ilości pary wodnej, znajdującej się w powietrzu do ilości pary, która w danej temperaturze nasyca powietrze. Powietrze bez pary wodnej będzie miało wilgotność względną równą 0%, a powietrze nasycone parą wodną, np. mgła, chmury, będzie miało wilgotność względną równą 100%. Powietrze może zawierać tylko pewną ograniczoną ilość pary wodnej, która wzrasta wraz z temperaturą.

Pionowy przekrój atmosfery do wysokości około 6 tysięcy metrów podano na rysunku 7, zaznaczając usytuowanie różnego rodzaju chmur:

z lewej strony w warunkach równowagi chwiejnej (konwekcji) z prawej zaś w warunkach równowagi stałej, tj. gdy nie ma ruchów pionowych powietrza.

Na rysunku 8 natomiast podano bliższe nieco rejony, bardziej dostępne dla naszych rakiet. Rozpatrywana tu jest atmosfera do wysokości 1000 m.

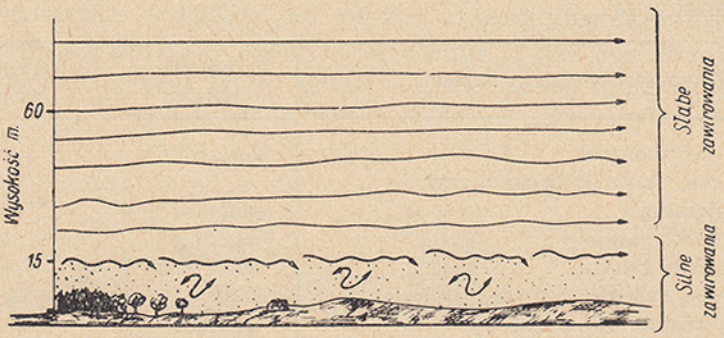


Rys. 8. Pionowy przekrój atmosfery do 1000 m z zaznaczeniem temperatury i średnich prędkości wiatru. Podano także pułapy typowych rakiet amatorskich: *1* — rakieta rzutowa i z silnikiem kliszowym, *2—4* rakiety wodno-powietrzne, *5—6* rakiety na paliwo stałe

Naniesiono podział warstwowy przyjęty w meteorologii, przy czym, jak widać, warstwa najniższa — tarciowa — rozpościera się od 0 do 15 m. Dla uwidocznienia zmian temperatury naniesiono także jej wartości.

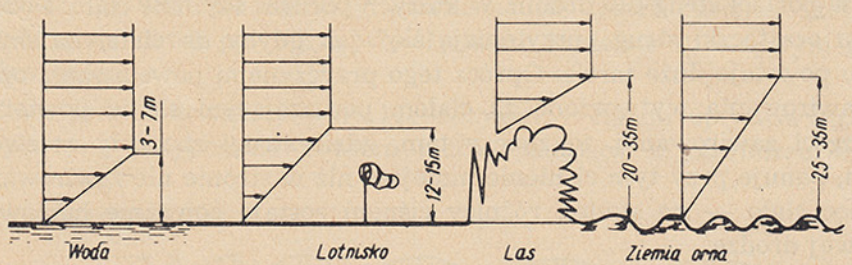
Podano również średnie prędkości wiatru na różnych wysokościach (co ważne będzie szczególnie przy startach rakiet, jak się dowiemy w dalszych rozdziałach).

Następny z kolei rysunek 9 obrazuje już bardzo przyziemne rejony do wysokości rzędu 70 m. Uwidoczniono na nim zawirowania powietrza powstające w warstwie tarciowej — powierzchniowej Ziemi. Zawirowa-



Rys. 9. Zawirowania powietrza w warstwie powierzchniowej ziemi

nia cząsteczek powietrza (lub jak dawniej określano — strug) najsilniej występuje do wysokości około 15 m, gdyż powietrze styka się bezpośrednio z Ziemią, która nie jest przecież idealnie równą płaszczyzną, a pokryta jest lasami, ma wzniesienia i doliny. Uspokojenie strug obser-



Rys. 10. Grubość warstwy powierzchniowej w zależności od rodzaju podłoża

wujemy dopiero na wysokości około 60 m — mowa naturalnie o terenie płaskim, w górach sytuacja przenosi się znacznie wyżej w zależności od wysokości danego wzniesienia. Wysokość warstwy powierzchniowej, tej która najbardziej jest zaburzona, zależy od rodzaju podłoża. Obrazuje to rysunek 10. Inna jest zatem wysokość warstwy tarciowej, gdy powietrze (wiatr) przesuwa się nad wodą, a inne, gdy np. nad lasem.

W Polsce przeważają wiatry wiejące z kierunku zachodniego; nazywamy je wiatrami zachodnimi. Występują one w czerwcu, lipcu, sierpniu i wrześniu. W październiku i listopadzie występują także wiatry południo-

wo-wschodnie z przewagą jednak zachodnich. Prędkość wiatru zmienia się nie tylko z wysokością, ale i w ciągu doby. W godzinach rannych (około 8—9) prędkość wiatru wzrasta, około 13—14 godz mamy największe nasilenie, a około 18 — wiatr ucicha. Tak się dzieje do wysokości około 100 m latem, a do 50 m zimą.

Dla ułatwienia określania prędkości wiatru na starcie, jeśli nie mamy możności posługiwania się wiatromierzem (anemometrem) zestawiono tablicę orientacyjną.

Zewnętrzne oznaki wiatru	Nazwa wiatru	Prędkość w m/sek
Dym unosi się pionowo	cisza	0
Dym unosi się skośnie; liście drzew lekko szeleszczą	powiew	1
Płomień zapałki gaśnie	łagodny	2—3
Porusza cienkie gałęzie	dość silny	6—8
Porusza grube gałęzie	silny	11—12
Druty telegraficzne silnie „buczą"	wichura	13—15

4. Dwa łyki aerodynamiki

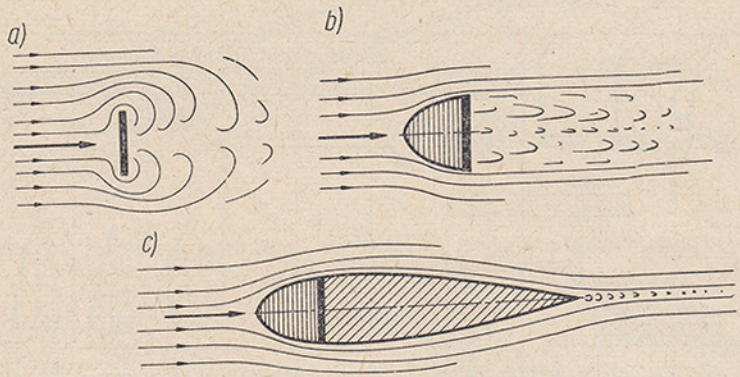
Na każde ciało poruszające się w powietrzu, a więc i na rakietę, działa pewna siła. Siłą tą jest opór powietrza, z którym spotykamy się na codzień np. jadąc na rowerze czy wystawiając rękę z pędzącego samochodu. Opór tłumaczymy poglądowo w ten sposób, że wyobrażamy sobie powietrze w postaci strug lub drobin, w których porusza się dane ciało. Podczas ruchu cząsteczki strug „przylepiają się" jak gdyby do ciała, na skutek czego powstaje duże tarcie. Oprócz tego przyczynami powstawania oporu są zawirowania wytworzone za ciałem poruszającym się w powietrzu. W części zawirowanej, to znaczy tam, gdzie strugi zboczyły ze swojej drogi, panuje przy tym ciśnienie mniejsze niż w stronie nie zawirowanej, a więc ciało — na skutek różnicy ciśnień zostaje poważnie hamowane na swej drodze.

O tym, czy ciało poruszające się w powietrzu będzie dawało mniejsze lub większe zawirowania, decyduje kształt ciała. Jeżeli ciało ma kształt opływowy, bez występów, kantów i załamań, to poruszać się może w powietrzu o wiele łatwiej niż inne, nie posiadające wymienionych zalet. W przypadku pierwszym opór ciała określamy jako mały, w drugim zaś jako duży.

Na rys. 11 przedstawiono poglądowo opływ strug powietrza wokół ciał o różnych kształtach. Na rys. 11a widzimy płaską płytkę ustawioną prostopadle do kierunku strug powietrza; płytka powoduje silne odchylenie i zahamowanie strug oraz zawirowania. Mówimy, że opór płytki jest bardzo duży.

Na rys. 11b pokazano tę samą płytkę, ale z małą osłoną doklejoną z przodu. Cóż się stało gdy umieściliśmy taką bryłę w strumieniu powietrza? Zawirowania jakby wydłużyły się i pomimo jeszcze poważnego obszaru zakłóceń widać znaczną różnicę w porównaniu z poprzednim doświadczeniem. Rysunki te wykonano na podstawie badań przeprowadzonych w tunelu aerodynamicznym. Dla uwidocznienia strug powietrza wpuszczono do tunelu dym.

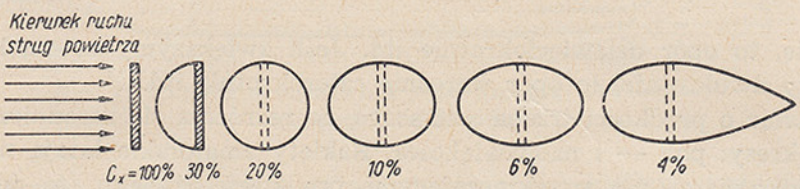
Doświadczenia wykazują, że płytka z aerodynamiczną osłonką ma około pięć razy mniejszy opór niż zwyczajna płytka bez osłony. Gdybyśmy spróbowali z tyłu płytki dokleić jeszcze jedną część o opływowym



Rys. 11. Opływ strug powietrza w zależności od kształtu ciała

kształcie, to wówczas możemy przekonać się (patrz rysunek 11c), jak układają się strugi powietrza wokół ciała o kształcie stawiającym minimalny opór.

Ciało przedstawione na rys. 11c nazywamy ciałem opływowym albo kroplowym, przypomina bowiem nieco spadającą w powietrzu kroplę



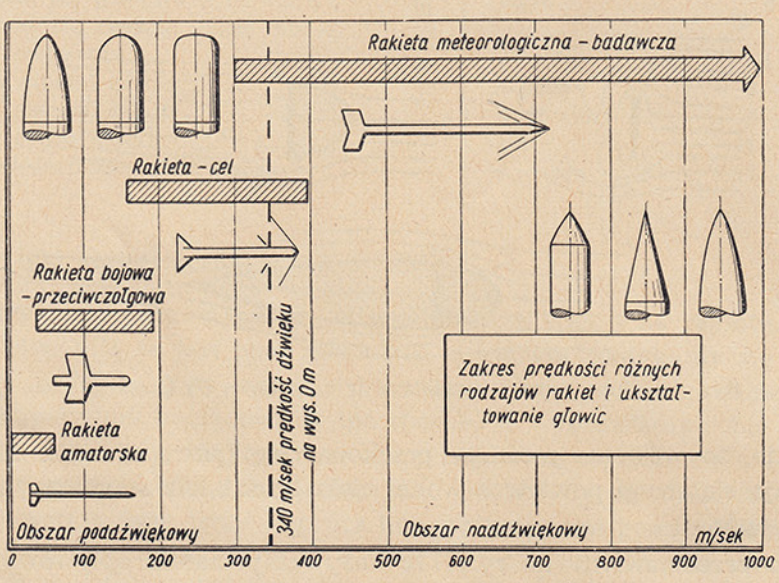
Rys. 12. Opór ciała o jednakowym przekroju poprzecznym, ale różnych kształtach

cieczy. Dodać trzeba, że określenie to jest wielkim uproszczeniem, gdyż w rzeczywistości kropla np. wody wcale nie ma idealnego kształtu opływowego. Wielkość zmniejszenia się oporu dla sześciu ciał o jednakowej powierzchni maksymalnego przekroju poprzecznego, ale o zmiennych kształtach ilustruje rysunek 12. Jeśli opór płaskiej płytki o obrysie koło-

wym określimy jako 100%, to z chwilą dobudowy półkuli opór zmniejszy się do 30%. Po dostawieniu drugiej półkuli do 20%, a gdy będziemy spłaszczać tak powstałą bryłę, to uzyskamy zmniejszenie oporu nawet do 4%.

Aerodynamika uczy, że opór ciał poruszających się w jakimkolwiek ośrodku (np. powietrze lub woda) jest proporcjonalny do gęstości danego ośrodka. Gęstość wody jest na przykład 815 razy większa od powietrza (czyli opór w wodzie jest 815 razy większy niż w powietrzu).

Przy zwiększeniu prędkości ciała poruszającego się w powietrzu wzrasta również i opór. Wzrasta on przy tym do kwadratu prędkości. Na przykład, jeżeli prędkość poruszającego się w powietrzu ciała [1]) wzrosła dwukrotnie, to opór wzrośnie czterokrotnie; gdy prędkość wzrośnie trzy-



Rys. 13. Zakres prędkości kilku rodzajów rakiet i ukształtowanie głowic. Z lewej głowice do małych, z prawej do dużych prędkości

krotnie, to opór dziewięciokrotnie itd. Jeśli zwiększymy zatem kaliber rakiety dwukrotnie, to opór wzrośnie czterokrotnie itd.

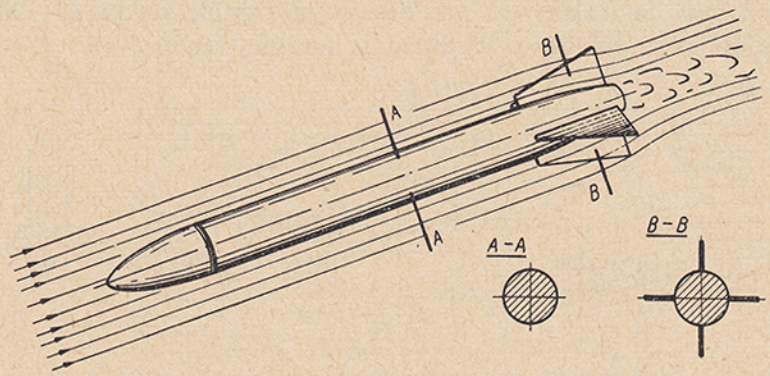
Mówiąc o prędkości trzeba zaznaczyć, że rozróżnia się zasadniczo dwa jej zakresy: pod — i naddźwiękową. Rakiety amatorskie latają na ogół z prędkościami nie przekraczającymi prędkości dźwięku, to jest ok. 340 m/sek. Stąd też zajmujemy się omówieniem wyłącznie aerodynamiki prędkości poddźwiękowych, zaznaczając jedynie, że wielkimi prędkościami rządzą inne prawa.

Na rys. 13 przedstawiono zakresy prędkości kilku rodzajów rakiet i typowe ukształtowanie głowic.

---

[1]) Lub też powietrza opływającego dane ciało, co ma miejsce na przykład w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego.

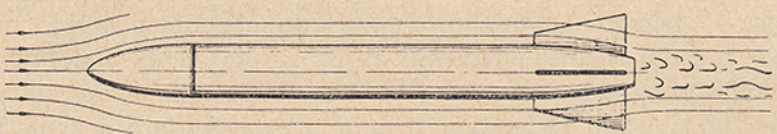
Opór rakiety zmniejsza się o tyle, o ile zmniejszyła się powierzchnia czołowa. Należy przy tym wiedzieć, co nazywamy powierzchnią czołową. Otóż powierzchnią czołową nazywamy maksymalną powierzchnię przekroju poprzecznego danego ciała. Na rys. 14 pokazano rakietę znajdującą się w strumieniu powietrza. Przekrój *A—A* jest poprzecznym przekrojem kadłuba rakiety. Maksymalnym jednak tworzącym powierzchnię czołową



Rys. 14. Pojęcie powierzchni czołowej — maksymalnego przekroju poprzecznego

będzie przekój *B—B*, gdyż musimy uwzględnić powierzchnię przekroju usterzenia. W przypadku bardzo cienkich płyt usterzenia, a takie właśnie mają małe rakiety amatorskie, za powierzchnię czołową przyjmuje się przekrój *A—A* nie popełniając większej nieścisłości.

Kształt rakiety jest tylko nieco zbliżony do idealnego — opływowego, stąd też i opływ strug powietrza wokół kadłuba rakiety nie jest identyczny, jak to obserwowaliśmy przy idealnej kropli. Na rys. 15 widoczne



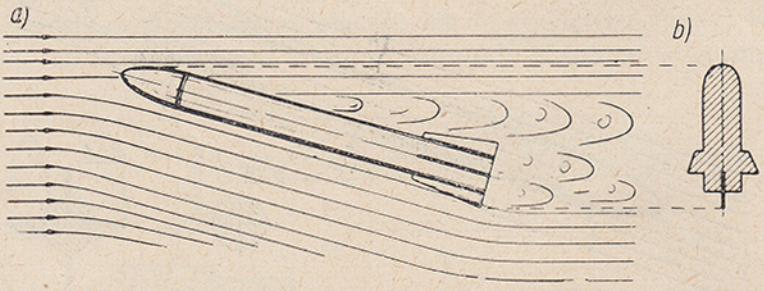
Rys. 15. Rakieta w strumieniu powietrza przy prędkościach mniejszych od dźwięku

są zaburzenia linii strug w tylnej, tępej części kadłuba zwiększające naturalnie opór. Zaznaczyć tu wypada, że opływ podany na rysunku odnosi się do przypadku, gdy rakieta leci po ustaniu pracy silnika. Kiedy bowiem silnik pracuje, gazy ulatujące z dyszy, w pewnej mierze likwidują zawirowania i depresję, stąd i opór rakiety jest mniejszy.

Jeśli rakieta znajduje się w strugach powietrza opływających ją skośnie, jak na przykład w sposób pokazany na rys. 16, to zwiększy się strefa zaburzeń, gdyż rakieta na skutek pochylenia zwiększyła powierzchnię

wystawioną na działanie strug: rys. 16a — rakieta lecąca pod pewnym kątem w stosunku do strug powietrza (widok z boku), rys. 16b — widok rakiety z przodu od strony nacierających strug powietrza.

Na opór rakiety wpływa, jak widać, szereg czynników. Wiemy już, że opór zmienia się proporcjonalnie do gęstości ośrodka, że zależy od kształtu ciała i jego położenia względem strug powietrza. Poza tym na opór ma wpływ gładkość pokrycia rakiety i jej wydłużenie. Stwierdzono doświadczalnie, że rakiety o wielkim wydłużeniu, rzędu 10—20 mają mniejszy opór niż rakiety o wydłużeniu małym, rzędu 5—6.



Rys. 16. Powierzchnia opływu zwiększa się przy dużych kątach nachylenia rakiety w stosunku do strug powietrza: *a*) — widok z boku, *b*) — widok od przodu, od strony nacierających drobin powietrza

Dla lepszego uzmysłowienia powstawania zjawiska oporu, można posłużyć się interesującym doświadczeniem za pomocą tak zwanego tunelu wodnego: w tym celu trzeba przygotować wanienkę blaszaną lub plastykową o rozmiarach 900×300 mm i wysokości około 30 mm. Po napełnieniu naczynia mniej więcej do połowy wodą, wsypuje się doń pył aluminiowy (lub drobno zmieloną farbę srebrną) w takiej ilości aby równomiernie pokrywał całą powierzchnię wody). Dno wanienki trzeba pomalować czarną farbą, aby lepiej uwidaczniał się srebrzysty proszek.

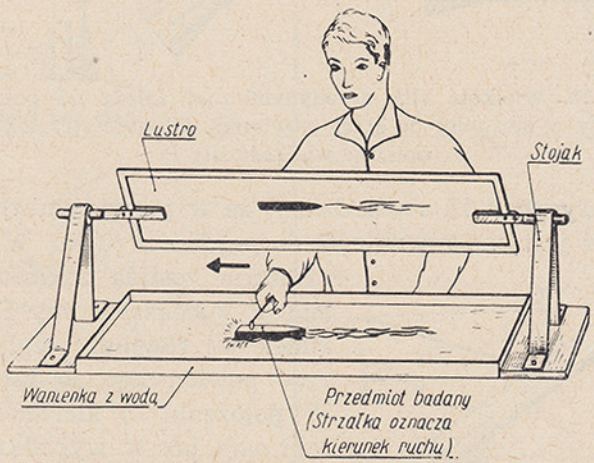
Na rys. 17 podano przykładowe rozwiązanie budowy całego urządzenia [1]). Po bocznej ściance wanienki ślizga się kątownik z dolutowanym drucianym wysięgnikiem (średnicy 3—4 mm). Do wysięgnika umocowane jest ciało poddawane badaniom, w tym przypadku profil symetryczny. Ponieważ wysięgnik zaopatrzony jest w uchwyt z gwintem, można wstawiać doń ciała o różnych kształtach, na przykład modele rakiet, głowic i usterzenia.

Poruszając po powierzchni wody powoli — jednostajnie przedmiot badany wzdłuż wanienki, zaobserwujemy opływ strug utworzonych z proszku wokoło danego przedmiotu. Linie strug układają się przy tym bardzo wyraźnie, dając w przystępny sposób pojęcie jak przebiegają podobne zjawiska w powietrzu. Jak widać z rysunku, nad wanienką umieszczone jest lustro osadzone obrotowo na dwóch wspornikach. Lustro ułatwia

[1]) Wg *F. W. Schmitza* — Einführung in die Flugphysik — Duisburg 1953.

obserwację opływu większej liczbie osób, na przykład w czasie wykładu w szkole itp. Opisany tunel (a ściślej kanał) umożliwia sprawdzenie opływu ciał uprzednio omawianych, na przykład płaskiej płytki z dostawianymi osłonami itp.

Opływ ciał w powietrzu jest bardziej złożony niż mogłoby się wydawać po naszych znacznie zresztą uproszczonych rozważaniach. Wystarczy nawet dodać, że i przy wielkich rakietach trzeba posługiwać się doświadczeniami praktycznymi przeprowadzonymi w tunelach aerodynamicz-



Rys. 17. Doświadczenie oparte na analogii hydrodynamicznej: ruch ciała w wodzie naśladuje lot i opływ strug w powietrzu

nych bądź na strzelnicach balistycznych, gdyż metody czysto teoretyczne nie dają pożądanych rezultatów, szczególnie jeśli chodzi o ujawnienie powstawania sił aerodynamicznych i momentów.

Do obliczenia oporu rakiety posługiwać się można standartowym wzorem przyjętym w aerodynamice:

$$P_x = C_x S \frac{\varrho v^2}{2} \qquad [1]$$

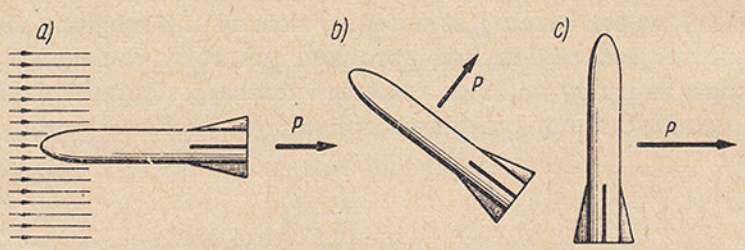
gdzie:

P_x — opór aerodynamiczny mierzony w kG,
C_x — współczynnik oporu,
S — maksymalna powierzchnia przekroju poprzecznego w m^2,
v — prędkość opływu strug (lub prędkość danego ciała) w m/sek,
ϱ — (ro) — gęstość powietrza 0,125[1]) w kG · sek^2/m^4.

[1]) Ciężar właściwy powietrza (γ) wynosi 1,226 kG/m^3; obliczamy go znając ciężar i objętość (1 m^3), masę zaś znajdziemy dzieląc ciężar przez przyspieszenie ziemskie ($g = 9{,}81$). Gęstość powietrza otrzymamy zatem dzieląc ciężar właściwy przez przyspieszenie: (zakładając temperaturę powietrza +15°C i ciśnienie 760 mm)

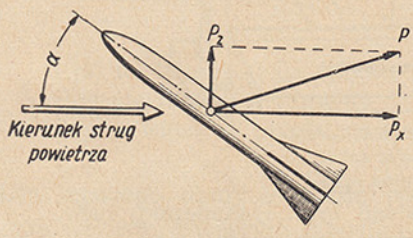
$$\varrho = \frac{\gamma}{g} = \frac{1{,}226}{9{,}81} = 0{,}125 \text{ kG} \cdot \text{sek}^2/\text{m}^4$$

Z aerodynamiki wiemy, że w zależności od położenia ciała siła aerodynamiczna zmienia się zarówno co do wielkości, jak i kierunku. Na rys. 18 podano trzy położenia rakiety w strumieniu powietrza. W każdym przypadku zaznaczono strzałką wielkość i kierunek siły P.



Rys. 18. Wielkość siły aerodynamicznej zależy od położenia rakiety w stosunku do strug powietrza. Długość strzałek symbolizuje wielkość siły P

Patrząc na rysunek 18 stwierdzimy, że w przypadku *a*) siła jest najmniejsza, gdyż jest ona równoległa do prędkości ruchu. W przypadku *b*) symetria została zakłócona i wartość siły P zwiększyła się. Przy tym kierunek jej również uległ zmianie tworząc pewien kąt do kierunku ruchu. W położeniu *c*) kierunek siły P jest taki sam jak w wypadku *a*) z tą różnicą, że siła aerodynamiczna jest o wiele większa — obrazuje to długość strzałki. Niesymetryczność opływu danego ciała powoduje odchylenie siły P.



Rys. 19. Rozkład sił aerodynamicznych działających na rakietę podczas lotu

Jeżeli siłę P rozłożymy według prawideł mechaniki na dwa kierunki, z których jeden będzie zgodny z kierunkiem ruchu, a drugi prostopadły, to otrzymamy dwie siły P_z i P_x. Siłę P_z w tym przypadku nazwiemy siłą nośną, a siłę P_x — oporem (rys. 19). Siłę nośną wyrazić można następującym wzorem:

$$P_z = C_z \cdot S \frac{\varrho v^2}{2} \qquad [2]$$

gdzie C_z jest współczynnikiem siły nośnej i wartość jego zależy od kształtu ciała i orientacji w stosunku do kierunku ruchu.

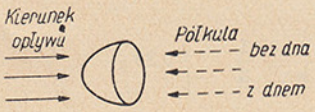
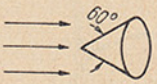
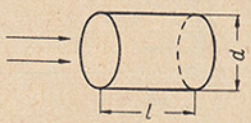
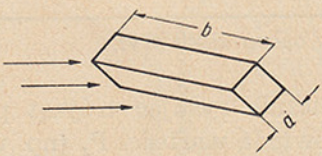
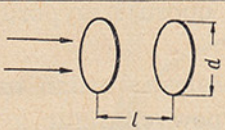
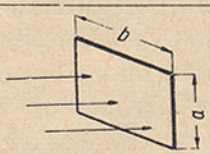
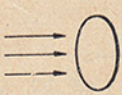
C_x jest, jak już wiadomo, współczynnikiem oporu czołowego którego wartość zależy również od kształtu i orientacji ciała w stosunku do kierunku ruchu.

Znając składowe wyporu i oporu możemy obliczyć wartość całej siły aerodynamicznej działającej na ciało, wykorzystując twierdzenie Pitagorasa, według wzoru:

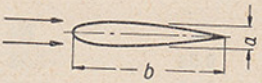
$$P^2 = P_z^2 + P_x^2$$

czyli

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_x^2} \qquad [3]$$

Model	Współczynnik C_x
 1 Półkula	A: 0,34; 0,40 — B: 1,33; 1,17
2 Stożek bez dna	0,34
 3 Stożek bez dna	0,51
 4 Walec	$\frac{l}{d}$ = 1: 0,91; 2: 0,85; 4: 0,87; 7: 0,99
 5 Graniastosłup	$\frac{a}{b}$ = $\frac{1}{5}$: 0,91; $\frac{1}{\infty}$: 1,53
 6 Kręgi płaskie ustawione za sobą	$\frac{l}{d}$ = 1: 0,93; 1,5: 0,78; 2: 1,04; 3: 1,52
 7 Płyta płaska	$\frac{a}{b}$ = 1: 1,10; 2: 1,15; 4: 1,19; 10: 1,29; 18: 1,40; ∞: 2,01
 8 Płaski krążek	1,12

Rys. 20

	Model	Współczynnik C_x
9	 Zastrzał	$\frac{a}{b} = \frac{1}{3}$ 0,20
10	Bryła obrotowa o gładkiej powierzchni	0,08
11	Stożek o kącie 20° (głowica)	0,16
12	Walec + półkula (głowica)	0,94
13	Walec + stożek eliptyczny (głowica)	0,28

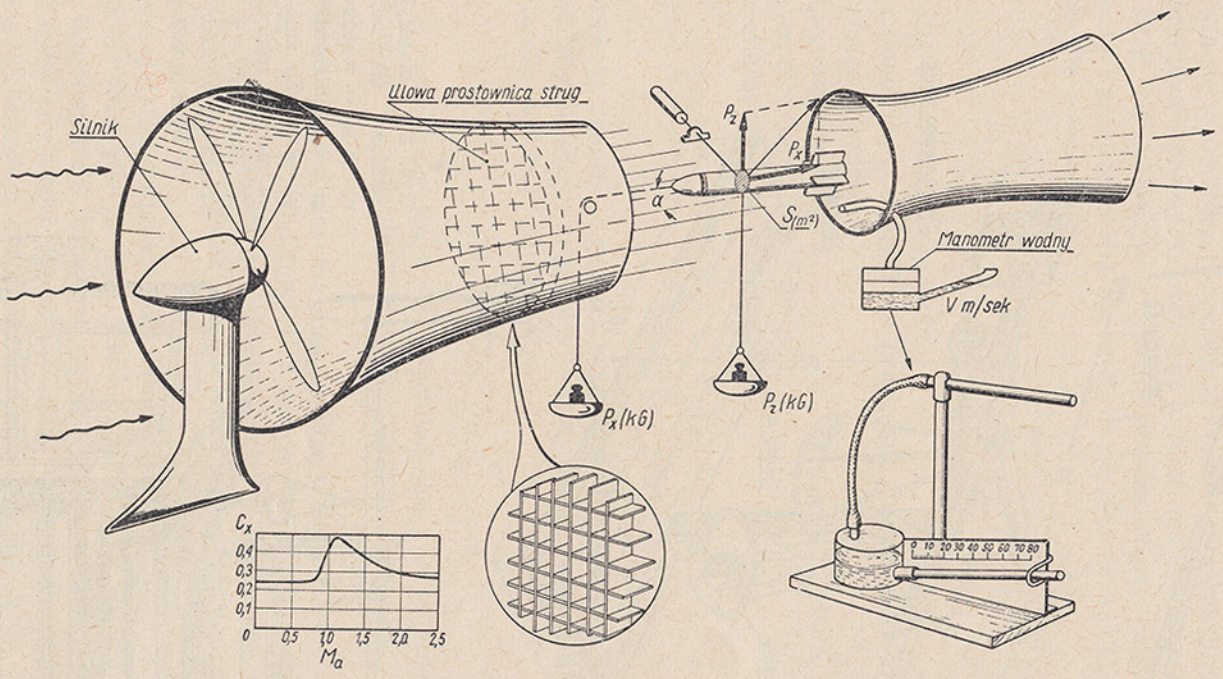
Rys. 20. Tabela współczynników oporu kilku brył

Siłę P można wyznaczyć również graficznie rysując trójkąt prostokątny, którego jedna przyprostokątna odpowiada wartości P_z (np. w kG), a druga P_x. Rysunek oczywiście musi być wykonany w pewnej obranej skali. Jak więc widać, aby obliczyć wielkość oporu i wyporu, musimy znać odpowiednie współczynniki C_z i C_x.

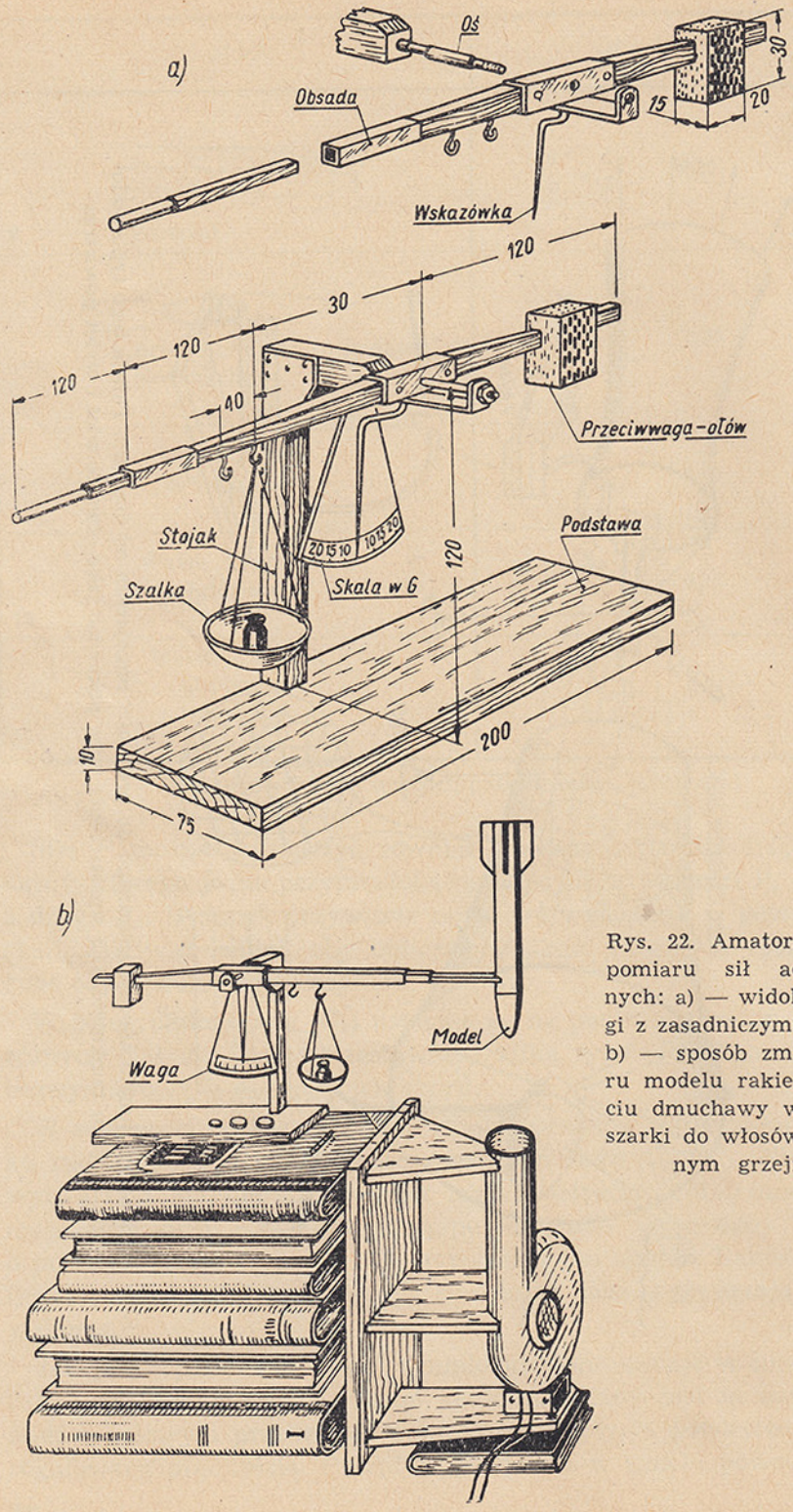
Współczynniki oporu (C_x) ustalane są na podstawie badań tunelowych różnych ciał. Na rys. 20 zestawiono kilka typowych figur z podaniem bezwymiarowych wartości ich oporu.

W zależności od kształtu ciała i jego położenia w stosunku do kierunku ruchu, zmienia się wielkość współczynników C_z i C_x. Niektóre ciała wytwarzają jedynie siłę nośną z małą wartością oporu, inne natomiast mają duży opór i nie powodują powstawania siły nośnej. Są to ciała o przeważającym wyporze lub przeważającym oporze. Rakiety nasze zaliczymy do drugiej grupy, gdyż siła nośna jaką wytwarzają jest raczej znikoma.

Jak już wspomniano, współczynniki ustalone zostają w tunelach instytutów aerodynamicznych. Tunel aerodynamiczny jest to kanał (najczęściej o kołowym przekroju), w którym przepływa powietrze z dowolnie regulowaną prędkością. Przepływ powietrza w tunelu powodują wenty-



Rys. 21. Schemat tunelu aerodynamicznego do prędkości mniejszych od dźwięku. Tunele tego typu budowane są jako zamknięte. Dla uproszczenia więc pokazano jako otwarte wlot i wylot powietrza



Rys. 22. Amatorska waga do pomiaru sił aerodynamicznych: a) — widok ogólny wagi z zasadniczymi wymiarami, b) — sposób zmierzenia oporu modelu rakiety przy użyciu dmuchawy w postaci suszarki do włosów (z wyłączonym grzejnikiem)

latory. Badane ciało ustawione zostaje w przestrzeni pomiarowej i następnie jest poddawane pomiarom (rys. 21).

Pomiary sprowadzają się do „zważenia" na odpowiednich wagach sił działających na dane ciało w czasie opływu strug powietrza. Model rakiety ustawia się w strumieniu powietrza i znając powierzchnię przekroju, prędkość przepływu powietrza oraz jego gęstość, mamy możność „zważyć" wielkości sił P_z i P_x. Jeśli na przykład „przedmuchany" został w tunelu model rakiety i zmierzona siła oporu P_x działająca na model podczas pomiarów zgodnie z wzorem:

$$P_{xm} = C_{xm} \cdot S_m \frac{\varrho v^2}{2} \qquad [4]$$

gdzie:

P_{xm} — siła zmierzona na modelu,
S_m — największa powierzchnia przekroju poprzecznego modelu,
ϱ — gęstość powietrza,
v — prędkość powietrza,
C_{xm} — współczynnik oporu modelu.

To po pomiarach można obliczyć, że

$$C_{xm} = \frac{P_{xm}}{S_m \cdot \frac{\varrho v^2}{2}}$$

Chcąc obecnie, zgodnie z geometrycznym podobieństwem obliczyć opór aerodynamiczny oryginalnej rakiety, której model poddawany był badaniom wystarczy wykonać działanie:

$$P_{xo} = C_{xm} \cdot S_o \frac{\varrho v^2}{2} \qquad [5]$$

indeksem o oznaczono wartości odpowiadające oryginalnej wielkości rakiety. Wartość C_x nie ulega zmianie, bowiem niezależna jest od rozmiarów ciała.

Współczynniki bezwymiarowe umożliwiają wykorzystanie danych uzyskanych przy próbach modelowych i zastosowania ich bezpośrednio do obliczania sił aerodynamicznych działających na oryginalną rakietę podczas lotu. Na rys. 22 podano sposób wykonania wagi aerodynamicznej oraz przykład pomiaru.

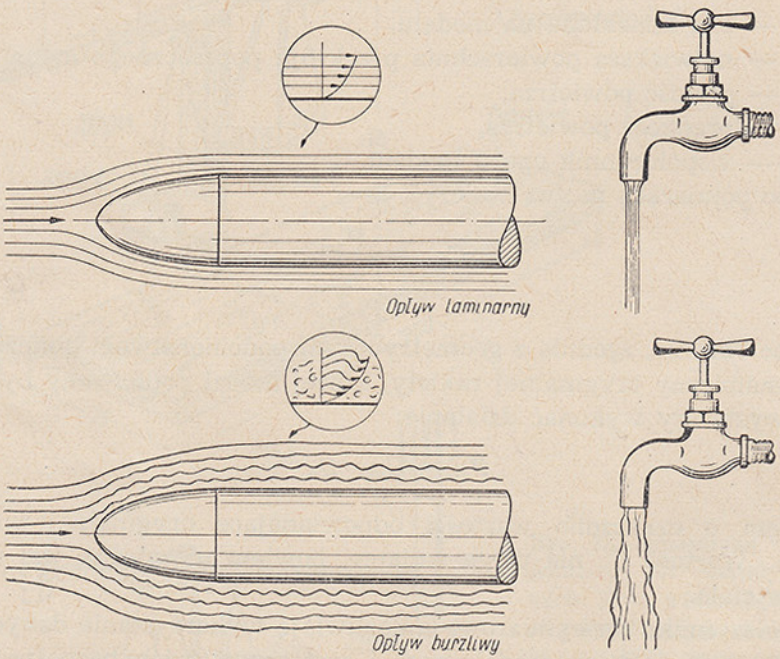
W pierwszej fazie projektowania rakiety rozdziela się ją na poszczególne części (takie jak głowica, kadłub, usterzenie, ujście dyszy itp.) i znajduje współczynniki ich oporu, bądź na podstawie danych liczbowych lub specjalnych pomiarów. Po zsumowaniu wszystkich współczynników oporu (z uwzględnieniem aerodynamicznego oddziaływania tzw. interferencji poszczególnych części) otrzymuje się współczynnik oporu całej rakiety.

Badania tunelowe przeprowadza się prawie wyłącznie na modelach danych rakiet, a to ze względu na niewielkie rozmiary przestrzeni po-

miarowej. Modele tego rodzaju wykonywane są najczęściej z metalu, a dla badań naddźwiękowych z żaroodpornych stopów, z dokładnością obróbki powierzchniowej sięgającej 1/1000 mm.

Aby można było wykorzystywać praktycznie wyniki pomiarów konieczne jest uzyskanie w tunelu takiego opływu wokół badanego modelu, jaki zachodzić będzie w oryginale. Dużą trudność sprawia lepkość powietrza, która stanowi główną przyczynę oporu (przy prędkościach pod- i naddźwiękowych). Wiadomo, że lepkość zależy od temperatury (odnosi się to nie tylko do powietrza, można np. spróbować kroić nożem miód chłodny i ogrzany, aby stwierdzić różnicę).

Lepkość powoduje powstawanie warstwy pogranicznej — przyściennej, której grubość na przykład na kadłubie małej rakiety amatorskiej może



Rys. 23. Laminarny i burzliwy opływ w warstwie przyściennej kadłuba rakiety. Z prawej poglądowe przedstawienie strumienia wody o strumieniu laminarnym (mała prędkość wypływu) i o strumieniu burzliwym (duża prędkość wypływu)

wynosić około 1—2 mm. Okazuje się przy tym, że opływ powietrza wokół danego ciała zależy w dużym stopniu od zmian prędkości właśnie w warstwie przyściennej.

Przy małych prędkościach i małych wymiarach liniowych danego ciała, ruch warstwy przyściennej jest laminarny (to znaczy gładki, uwarstwiony — regularny). Przy pewnym zwiększeniu ruchu, prędkość w warstwie przyściennej wzrasta przeradzając się w opływ burzliwy (inaczej turbulencyjny — o zmieniającym się ciągle i nieregularnie rysunku linii prądu) (rys. 23). Na rakietach z reguły powstaje opływ burz-

liwy. Zmianę prędkości w warstwie przyściennej określa tzw. *liczba Reynoldsa* [1]) (*Re*)

$$Re = \frac{v\,l}{\nu} \qquad [6]$$

gdzie:

v — prędkość,

l — wymiar liniowy ciała (np. głębokość skrzydła, długość rakiety),

ν — kinematyczny współczynnik lepkości, dla powietrza przy +15°C i 760 mm sł. rtęci, $\gamma = 0{,}0000145 \frac{m^2}{sek}$.

Oprócz liczby *Re* stosowany jest, szczególnie przy rozważaniach związanych z wielkimi prędkościami, stosunek prędkości przepływu (v) do prędkości dźwięku (c), tak zwaną *liczbę Macha* (*Ma*) [2]).

$$Ma = \frac{v}{C} \qquad [7]$$

Liczba Macha jest zatem jakby miarą prędkości. Jeśli prędkość rakiety równa jest prędkości dźwięku liczba $Ma = 1$, dla mniejszych prędkości liczba ta będzie mniejsza od jedności, dla większych — większa. Dla orientacji można podać, że dla współczesnych wielkich rakiet balistycznych $Ma = 10$ (to jest z grubsza licząc dziesięciokrotna prędkość dźwięku) a małe rakiety amatorskie latają z prędkością rzędu $0{,}03 \div 0{,}05\ Ma$.

Spróbujmy obecnie prześledzić uproszczony proces obliczeń aerodynamicznych. Przy założeniu, że opór całkowity i siła nośna rakiety składa się z sumy oporu kadłuba (P_{xk}) i usterzenia (P_{xu}) oraz sumy udźwigu tych części

$$P_x = P_{xk} + P_{xu}$$
$$P_x = P_{zk} + P_{zu} \qquad [8]$$

lub z sumy współczynników

$$C_x = C_{xk} + C_{xu}$$
$$C_z = C_{zk} + C_{zu} \qquad [9]$$

Siła nośna usterzenia. Współczynnik siły nośnej usterzenia rakiety określa się z wzoru:

$$C_{zu} = \frac{1{,}84\,\pi\,\lambda_u\,\alpha}{2{,}4 + \lambda_u} \cdot \frac{2\,S_u}{S_k} \qquad [10]$$

gdzie:

λ_u — wydłużenie usterzenia,

α — kąt natarcia, (czyli kąt zawarty między osią profilu usterzenia, a kierunkiem strug powietrza),

S_u — powierzchnia usterzenia,

S_k — powierzchnia maksymalnego przekroju kadłuba rakiety.

---

[1]) Od nazwiska uczonego, Amerykanina *Reynoldsa* (1883 r.).

[2]) Od nazwiska fizyka, Austriaka *Ernesta Macha* (1838—1916).

Na rys. 24 uwidoczniono przykładowe usterzenie [1]) z zaznaczeniem poszczególnych elementów. Zgodnie z oznaczeniami na rysunku obliczyć można wydłużenie:

$$\lambda_u = \frac{2\,l_u^2}{2\,S_u} \qquad [11]$$

oraz powierzchnię pary stateczników

$$2\,S_u = 2 \cdot b_s\,l_u = (b_{kr} + b_{kc}) \cdot l_u \qquad [12]$$

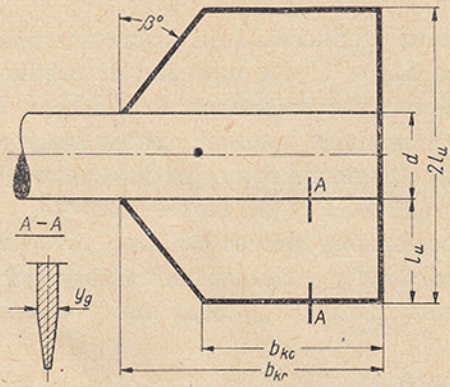
$$b_s = \frac{b_{kr} + b_{kc}}{2}$$

gdzie:

b_s — średnia cięciwa usterzenia,

b_{kr} — największa szerokość (głębokość) usterzenia,

b_{kc} — końcowa szerokość usterzenia.



Rys. 24. Charakterystyczne wymiary usterzenia

Względna grubość profilu usterzenia wynosi: $\Delta = \frac{2\,Y_g}{b_s}$ w celu dokładniejszego wykorzystania wzoru [10] szczególnie przy prędkościach okołodźwiękowych przyjmuje się, że współczynnik siły nośnej usterzenia równa się

$$C_{zu} = \frac{1{,}84\,\pi\,\lambda_u\,\alpha}{2{,}4 + \lambda_u} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - Ma^2}} \cdot \frac{2\,S_u}{S_k} \qquad [13]$$

Siła nośna kadłuba. W zakresie prędkości poddźwiękowych współczynnik siły nośnej kadłuba:

$$C_{zk} \approx \alpha \qquad [14]$$

gdzie α — kąt natarcia rakiety wyrażony w radianach. Całkowity współczynnik siły nośnej rakiety jest sumą poszczególnych współczynników siły nośnej.

$$C_z = \left(1 + \frac{1{,}84\,\pi\,\lambda_u}{2{,}4 + \lambda_u} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - Ma^2}} \cdot \frac{2\,S_u}{S_k}\right)\alpha \qquad [15]$$

[1]) Wg *W. Kurowa* i *J. Dołżańskiego* — Osnowy projektirowania rakietnych snariadow, Oborongiz 1962.

Opór usterzenia. Opór usterzenia można rozpatrywać zarówno, gdy ustawione jest ono pod kątem natarcia $= 0°$ jak i wówczas, gdy w stosunku do strug powietrza przyjmie położenie pod większymi kątami. W drugim przypadku opór wzrasta na skutek tak zwanego oporu indukowanego (to jest wzbudzonego, gdyż dodatkowe skrajne zawirowania utrudniają ruch stateczników. Zawirowania tego typu powstają na skutek różnicy ciśnień nad i pod statecznikiem w wyniku asymetrii opływu). Dla uproszczenia rachunku zakłada się najczęściej, że rakieta leci pod kątem 0° w stosunku do strug powietrza. Współczynnik oporu usterzenia profilowego obliczyć można według wzoru

$$C_{xp} = (0{,}005 + \frac{0{,}031\ \Delta}{1 - Ma^2} + \frac{0{,}072\ \omega^2}{1 - Ma^2}) = \frac{2\ S_u}{S_r} \qquad [16]$$

gdzie Δ — grubość średniej cięciwy prowilu, ω — krzywizna profilu (dla płaskiego płytowego usterzenia rakiet $\omega = 0{,}2$ S_u — powierzchnia dwóch par stateczników (najczęściej spotykany układ).

Jeśli uwzględnić opór indukowany (C_{xi})

$$C_{xi} = \frac{C^2_{zu}}{\pi \cdot \lambda_u} \cdot \frac{2\ S_u}{S_r} \qquad [17]$$

to ostateczny wzór do obliczenia współczynnika oporu usterzenia z płytowymi statecznikami otrzyma postać

$$C_{xu} = \left(0{,}01 + \frac{0{,}062\ \Delta}{1 - Ma^2} + \frac{C^2_{zu}}{\pi \cdot \lambda_u}\right) : \frac{2\ S_u}{S_r} \qquad [18]$$

Opór kadłuba. Kadłub rakiety, jak wykazują doświadczenia (szczególnie jeśli chodzi o duże jednostki) powoduje około 95% całkowitego oporu. Na opór kadłuba wpływ mają między innymi opory profilowe i tarcia. Opór profilowy kadłuba obliczamy z zależności

$$C_{xp} = \frac{AC_{xt}}{\sqrt{1 + 0{,}2\ Ma^2}} \qquad [19]$$

gdzie C_{xt} — współczynnik oporu tarcia, A — współczynnik empiryczny zależny od rozkładu ciśnień na kadłubie. Dla obliczenia C_{xt} można posłużyć się następującym wzorem

$$C_{xt} = \left[0{,}0315\ (Re - 0{,}145)\right] \cdot \frac{S_b}{S_r} \qquad [20]$$

gdzie:

Re — liczba Reynoldsa,

S_b — powierzchnia boczna kadłuba,

S_r — powierzchnia największego przekroju kadłuba rakiety.

Współczynnik oporu całego kadłuba wynosi

$$C_{xk} = \frac{0{,}0315\ A\ (Re - 0{,}145)}{1 + 0{,}2\ Ma^2} \cdot \frac{S_b}{S_r} + (0{,}05 + 0{,}25\ Ma^2) \qquad [21]$$

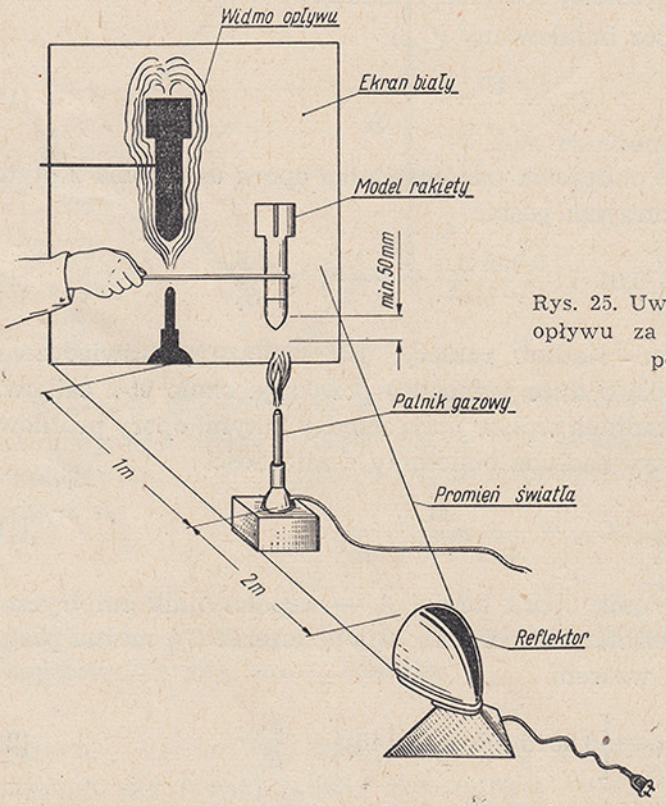
gdzie dodatkowo włączono człon określający opór dennej części kadłuba.

$$C_{xd} = (0{,}05 + 0{,}25\ Ma^2) \cdot \frac{S_d}{S_r}$$

Całkowity opór rakiety. Pełny współczynnik oporu — przy prędkościach poddźwiękowych — otrzymamy ze wzoru (bez uwzględniania siły nośnej usterzenia)

$$C_x = \left[0{,}01 + \frac{0{,}062\ \Delta}{1 - Ma^2} + \pi.\lambda_u \left(\frac{184}{2{,}4\ x_u} \right)^2 \right] \cdot \frac{2\ S_u}{S_r} +$$

$$+ \frac{0{,}0315\ A\ (Re - 0{,}145)}{\sqrt{1 + 0{,}2\ Ma^2}} \cdot \frac{S_b}{S_r} (0{,}05 + 0{,}25\ Ma^2) \cdot \frac{S_d}{S_r}$$



Rys. 25. Uwidocznienie widma opływu za pomocą gorącego powietrza

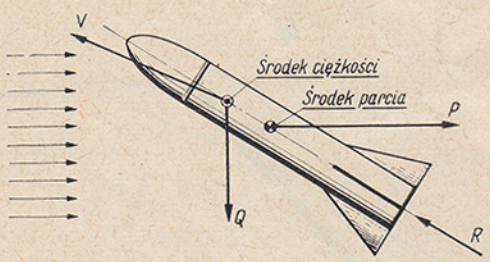
Przytoczone wyżej wzory obliczeń aerodynamicznych mogą mieć znaczenie praktyczne wyłącznie dla zainteresowanych projektowaniem rakiet dużych. Podano je jedynie celem zorientowania młodego konstruktora w sieci wszystkich czynników mających wpływ na lot rakiety. Jeśli zatem dobrzy matematycy i fizycy (a takimi powinni między innymi być

amatorzy rakietnictwa) zainteresują się teoretyczną stroną zagadnienia, nie przyniesie im to z pewnością szkody, lecz rozszerzenie wiadomości.

Praktycznie zaś, dla wszystkich, którzy jeszcze nie mają odpowiedniej wprawy w operowaniu złożonymi obliczeniami, doradzić warto zapoznanie się z wspomnianymi zjawiskami siły nośnej i oporu występującymi podczas ruchu rakiety w powietrzu, poprzez dokonanie szeregu doświadczeń. Na przykład przy użyciu kanału wodnego, bądź też przy wykorzystaniu widma opływu. Ciekawe widma opływu uzyskać można na zasadzie podobnej nieco do modnych niegdyś „chińskich cieni". W tym celu umieszcza się model badanego przedmiotu w pewnej odległości nad płomieniem palnika gazowego oświetlając całość tak by uzyskać cień opływu gorącego powietrza na białym ekranie (lub ścianie). Widmo opływu tego rodzaju można fotografować i jest ono niezwykle łatwe do uzyskania, co ilustruje schematycznie rys. 25. Dodać warto, że podobną metodą bada się często modele przeznaczone do prędkości naddźwiękowych.

5. Stateczność rakiet w locie

Podczas lotu (rys. 26), na rakietę niesterowaną działają zasadnicze trzy siły: ciąg silnika — *R*, siła aerodynamiczna — *P*, i ciężar — *Q*. Kierunek ciągu zgodny jest z osią symetrii rakiety, ciężar przyłożony jest zgodnie z prawami mechaniki w środku ciężkości rakiety, a siła aerodynamiczna skierowana przeciwnie do kierunku napływu strug powietrza. Punkt przyłożenia siły *P* nazywa się środkiem parcia. (Porównaj także rysunki: 18 i 19). Aby rakieta poruszała się po przewidzianym torze, musi być stateczna. Ruch rakiety po torze będzie wówczas stateczny, jeśli siły i momenty będą w stanie przywrócić w każdym przypadku równowagę skierowując rakietę na pierwotny tor lotu. Na rysunku 27 uwidoczniono dwa przypadki: *a)* — dla rakiety statecznej, gdy tor lotu uległ zakłóceniu, ale wahania zanikają pod wpływem sił i momentów oraz *b)* — dla rakiety niestatecznej, gdy siły i momenty nie są w stanie usunąć coraz bardziej rosnących wahań.

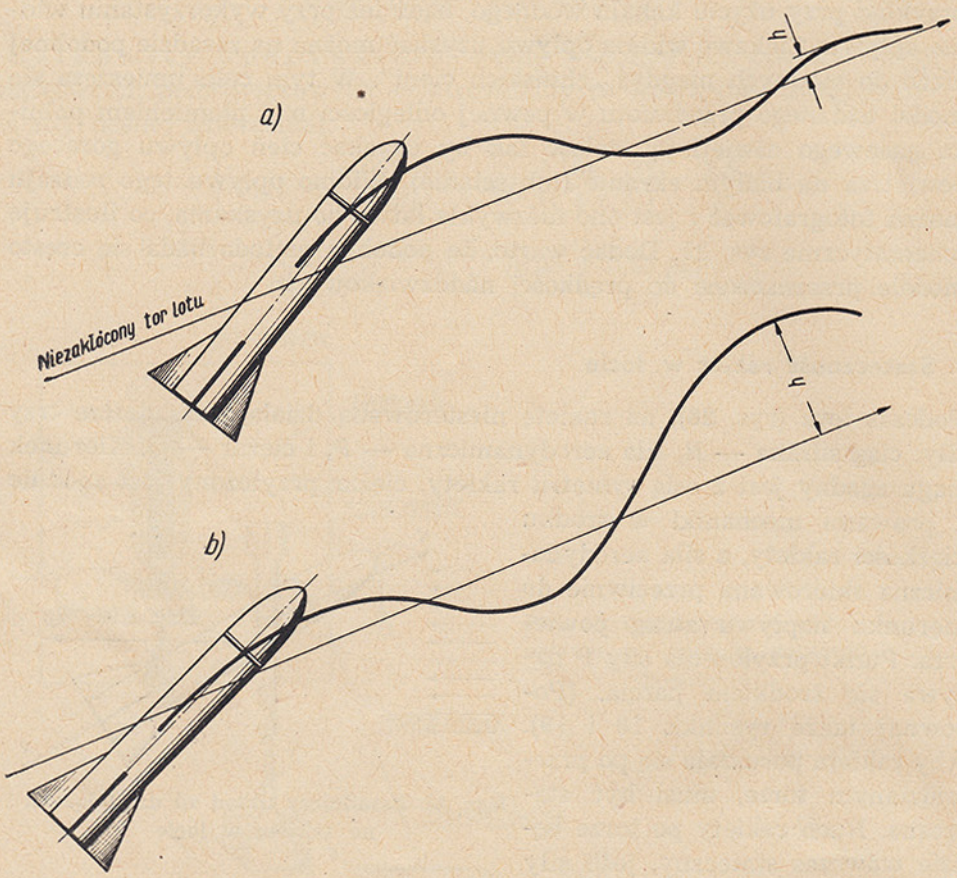


Rys. 26. Zasadniczy układ sił działających na rakietę w locie

Dla zachowania stateczności ciała poruszającego się w powietrzu (nie tylko rakiety) środek ciężkości powinien leżeć przed środkiem parcia. Jest to podstawowy warunek stateczności, niezmiernie ważny również ze względu na bezpieczeństwo przy starcie.

Jeśli środek ciężkości położony będzie za środkiem parcia, rakieta jest niestateczna i raz wytrącona z równowagi nie wróci na poprzedni

tor lotu. Na rysunku 28 podano dwa przypadki działania sił i momentów na rakietę stateczną: *a)* — rakieta podczas statecznego ruchu po torze, *b)* — wymuszone położenie rakiety i działanie momentu aerodynamicznego wokół środka ciężkości. W pierwszym przypadku przy dodatnim kącie (α), w drugim — przy ujemnym.

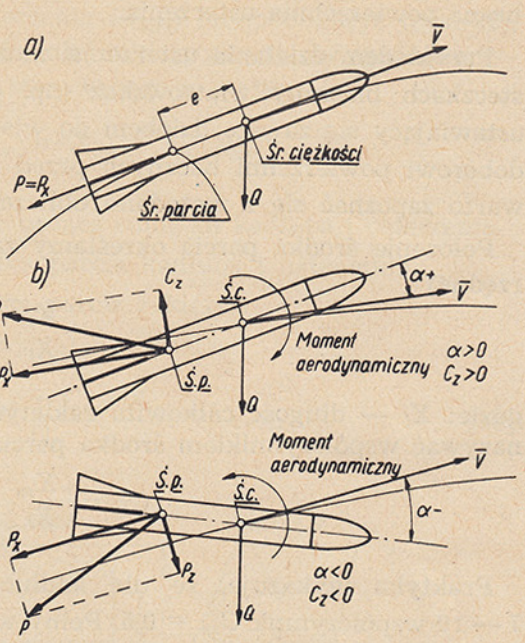


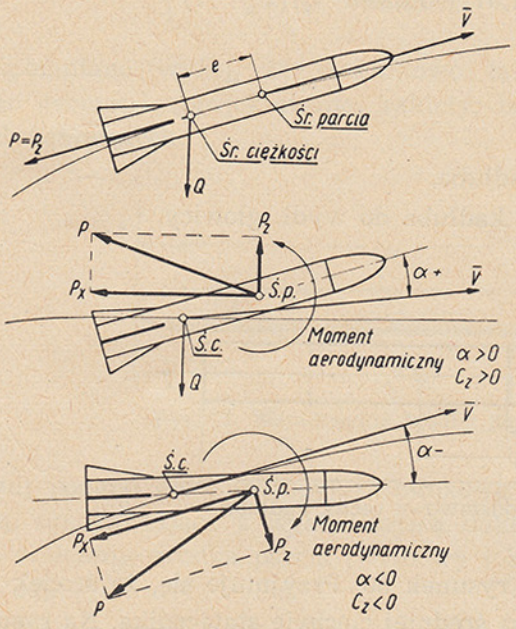
Rys. 27. Tor rakiety statecznej (a) i niestatecznej (b). W pierwszym przypadku wychylenia zanikają, w drugim rosną (wartość h)

Na rysunku 29 pokazano rakietę, której środek parcia położony jest przed środkiem ciężkości. Jak widać, powstały moment nie pomaga tutaj w zmniejszeniu kąta natarcia, a przeciwnie — powiększa go, tym samym wytrącając rakietę z pierwotnego toru lotu. Taka rakieta jest niestateczna.

O tym czy rakieta szybciej lub wolniej wróci do równowagi decyduje odległość e między środkiem ciężkości i środkiem parcia. Dla zapewnienia stateczności, to jest spełnienie wyżej wspomnianych warunków, rakieta zaopatrzona jest w usterzenie, którego stateczniki zwiększają

Rys. 28. Działanie momentu wokół środka ciężkości w przypadku rakiety statecznej: środek parcia za środkiem ciężkości. Odległość „e" jest marginesem stateczności





Rys. 29. Działanie momentu wokół środka ciężkości w przypadku rakiety niestatecznej: środek parcia przed środkiem ciężkości

momenty aerodynamiczne wokół środka ciężkości, tak iż środek parcia leży za środkiem ciężkości. Oczywiście o ile zostanie odpowiednio dobrana powierzchnia usterzenia.

Przykładem działania usterzenia, może być popularny w małych miasteczkach blaszany wiatrowskaz (np. o kształtach ptaka, strzały itp.) ustawiający się zawsze dziobem do wiatru, a to tylko dzięki zręcznemu doborowi powierzchni bocznych przed i za środkiem ciężkości. Obecnie warto zapoznać się z metodami obliczeniowymi.

Położenie środka parcia określamy za pomocą bezwymiarowej współrzędnej

$$\frac{X_{sp}}{X_l}$$

gdzie: X_l — długość całkowita rakiety. Współrzędną tę można również nazywać współczynnikiem środka parcia, wówczas

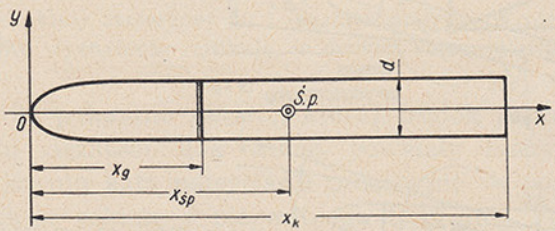
$$C_{sp} = \frac{X_{sp}}{X_l} \qquad [23]$$

Praktyka wykazuje, że dla kadłubów rakiet o wydłużeniu rzędu 7 — 10 współczynnik $C_{sp} = 0{,}5$. Pełny wzór obliczeniowy (ważny również dla prędkości naddźwiękowych):

$$C_{sp} = \frac{0{,}733 + 0{,}667\,\alpha \cdot \lambda_g\,(\bar{x}_k^2 - 1)}{\bar{x}_k\,\left[(1{,}57 + 1{,}334\,\alpha \cdot \lambda_g)(\bar{x}_k^2 - 1)\right]} \qquad [24]$$

gdzie:

α — kąt natarcia,
λ_g — wydłużenie głowicy,
λ_k — wydłużenie całego kadłuba,
$\bar{x}_k$ — stosunek wydłużenia kadłuba do wydł. głowicy.



Rys. 30. Podstawowe cechy kadłuba

Pojęcia powyższe ilustruje rysunek 30. Przyjmuje się, że środek parcia usterzenia położony jest na średniej cięciwie statecznika. Na rysunku 31 podano trzy układy stateczników z zaznaczonymi środkami parcia.

Środki te pokrywają się środkami powierzchni bocznej, co jest dużym ułatwieniem dla obliczeń amatorskich, jak się dalej dowiemy.

Współrzędną środka parcia usterzenia (X_{spu}) łatwo obliczyć (rys. 32), gdyż $X_{spu} = X_k - b_s$. Środek parcia całej rakiety określamy zgodnie z rysunkiem 33 w sposób podobny do stosowanego w statyce.

$$C_{zk}\ X_{spk} + C_z \cdot v \cdot X_{spu} = C_z\ X_{sp}$$

gdzie:

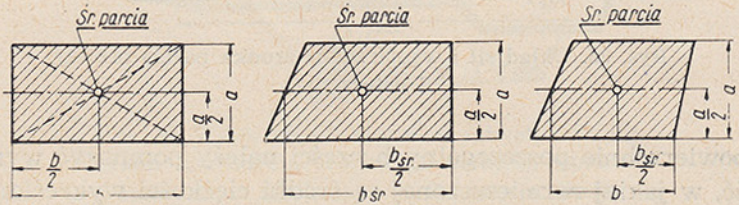
C_z — siła nośna rakiety będąca sumą sił kadłuba i usterzenia.

X_{spk}, X_{spu} — współrzędne środka parcia kadłuba i usterzenia.

X_{sp} — współrzędna środka parcia rakiety.

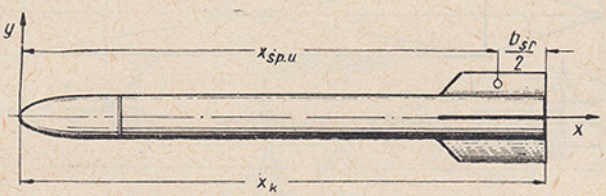
Poszukiwana odległość (współrzędna) X_{sp} wynosi:

$$X_{sp} = \frac{C_{zk} \cdot X_{spk} + C_{zu} \cdot X_{spu}}{C_z} \qquad [25]$$



Rys. 31. Środki ciężkości trzech przykładowych powierzchni usterzenia

Wspomniano wyżej, że stosunkowo łatwo obliczyć środek parcia znając geometrię projektowanej rakiety, bez uciekania się do obliczeń aerodynamicznych.



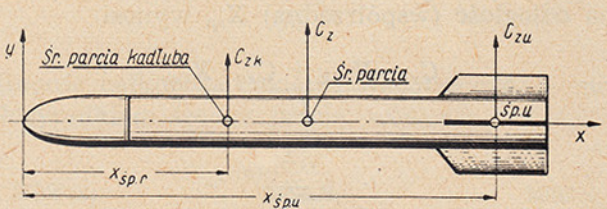
Rys. 32. Współrzędna środka parcia usterzenia

Niżej podano dwie metody: rachunkową i bezpośrednią — wyważeniową, umożliwiające z wystarczającą dokładnością dla celów amatorskich obliczenie środka parcia (wymiary i kształt rakiety przykładowe). (Rys. 34).

Metoda rachunkowa polega na wykreśleniu w obranej skali rakiety w widoku z boku, obliczeniu powierzchni poszczególnych części,

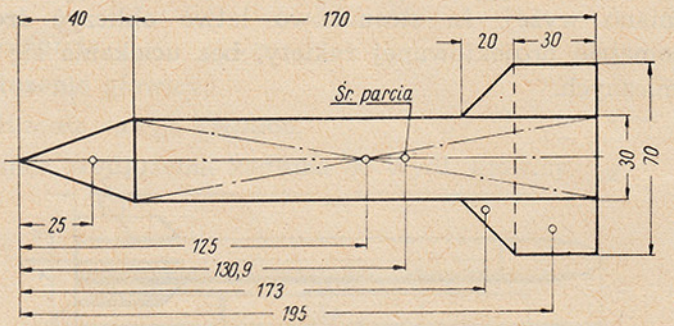
a więc: głowicy, kadłuba i usterzenia, i odniesienia wyniku do obranego punktu np. przodu głowicy. Na rysunku zaznaczyć trzeba następnie środki ciężkości poszczególnych figur geometrycznych, jakie tworzą części rakiety (rys. 34).

Obliczmy kolejno powierzchnie w mm^2 rozpoczynając od głowicy. Powierzchnię tego trójkąta łatwo znaleźć z działania $\frac{40 \cdot 30}{2} = 600\ mm^2$, powierzchnię prostokąta, jaki tworzy kadłub znajdziemy mnożąc $170 \cdot 30 = 5100\ mm^2$. Powierzchnia przodu usterzenia wyniesie: $2 \cdot \frac{20 \cdot 20}{2} = 400\ mm^2$, a powierzchnia tylnej części usterzenia $2 \cdot 30 \cdot 20 = 1200\ mm^2$.



Rys. 33. Układ sił i współrzędne środka parcia rakiety i usterzenia

Mając powierzchnie poszczególnych części należy pomnożyć wynik przez odległość, w jakiej rozmieszczonej są środki ciężkości wykreślonych części (środki te oznaczono kropkami na rysunku 34). Mnożąc powierzchnie



Rys. 34. Obliczenie położenia środka parcia na bocznym rysunku rakiety

przez odległość uzyskamy moment ($mm^2 \cdot mm$), a suma momentów podzielona przez sumę powierzchni da w wyniku położenia środka parcia.

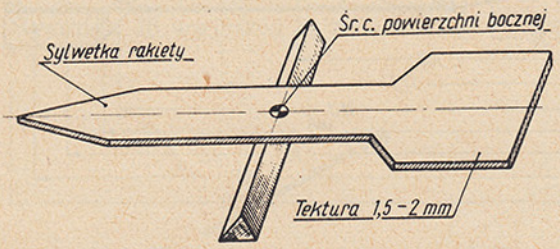
Suma powierzchni: $600 + 5100 + 400 + 1200 = 7300\ mm^2$. Momenty: $600 \cdot 25 = 15\,000\ mm^2mm$, $5100 \cdot 125 = 637500\ mm^2mm$, $400 \cdot 173 = 69200\ mm^2mm$, $1200 \cdot 195 = 234\,000\ mm^2mm$. Suma momentów:

1500 + 637500 + 69200 + 234000 = 955700 mm²mm. Odległość środka parcia, licząc od przodu głowicy wyniesie

$$\frac{955700 \text{ mm}^2\text{mm}}{7300 \text{ mm}^2} = 130{,}9 \text{ mm}$$

Druga metoda polega na wyważeniu kartonowego lub tekturowego obrysu danej rakiety w pewnej skali oryginału np. 1 : 5. Znaleziony środek leżący na przecięciu się z osią rakiety będzie środkiem powierzchni bocznej i jednocześnie poszukiwanym środkiem parcia (rys. 35).

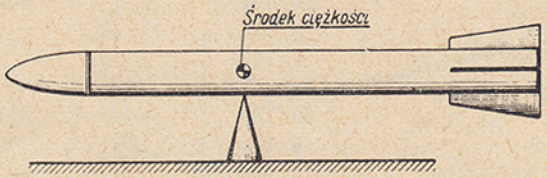
Praktyczne badania wykazały, że aby rakieta amatorska była stateczna w locie, środek parcia powinien znajdować się za środkiem ciężkości



Rys. 35. Wyważanie tekturowej sylwety rakiety, celem znalezienia środka powierzchni bocznej, a tym samym środka parcia. Sylweta w określonej skali

rakiety w odległości równej co najmniej ½ kalibra (średnicy) rakiety. Odnosi się to wyłącznie do rakiet niesterowanych.

Jeśli już wspomnieliśmy o środku ciężkości, to musimy również ustalić jego położenie. Gotową rakietę wystarczy podeprzeć w pewnym miejscu, podobnie jak kij od szczotki, aby znaleźć punkt, w którym rakieta zachowa



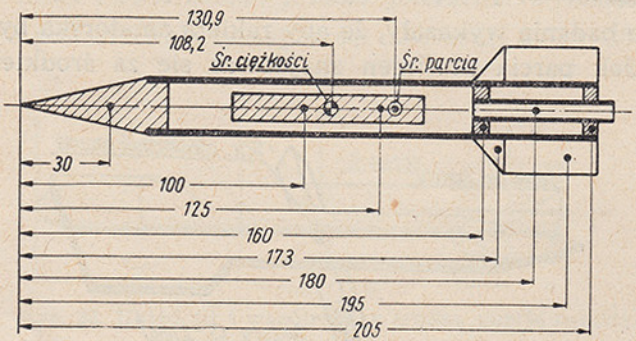
Rys. 36. Równowaga rakiety podpartej w środku ciężkości

równowagę (rys. 36). Dla nas ważne jest jednak ustalenie środka ciężkości już przy projektowaniu rakiety, aby łatwiej spełnić warunek odnośnie do usytuowania środka parcia.

Jak wiadomo, rakieta składa się z szeregu części, z których każda ma swój własny środek ciężkości. Otóż znając ciężary poszczególnych części

i położenie ich środków ciężkości, jesteśmy w stanie znaleźć interesujący nas punkt drogą prostego rachunku.

Ciężary określić możemy ważąc dane części, albo też mnożąc ich objętość przez ciężary właściwe [1]). Najpierw wykreślamy obrys (rys. 37) projektowanej rakiety (w dowolnej skali) i na rysunek nanosimy usytuowanie poszczególnych części i ich środki ciężkości. Z kolei obliczamy momenty w odniesieniu do przedniej (lub tylnej) części rakiety. Poszcze-



Rys. 37. Obliczenie położenia środka ciężkości na bocznym rysunku rakiety. Tu również zaznaczono usytuowanie środka parcia

gólne momenty sumujemy, dzieląc następnie uzyskaną sumę przez ciężar całkowity rakiety. W wyniku otrzymujemy poszukiwane położenie środka ciężkości [2]).

Nazwa części	Ciężar [G] · Odległość [mm]	= Moment [Gmm]
Głowica	30 · 30	= 900
Spadochron	10 · 100	= 1000
Kadłub	5 · 125	= 625
Wręga	2 · 140	= 280
Usterzenie (4 · 0,5)	2 · 173	= 346
Paliwo	20 · 180	= 3600
Usterzenie (4 · 1,5)	6 · 195	= 1170
Wręga	2 · 205	= 410
	77	8331

[1]) Oto kilka ciężarów właściwych (G/cm^3) typowych materiałów modelarskich: balsa — 0,15; sosna — 0,6; ołów — 11,4; mosiądz — 8,5; aluminium — 2,7; stal — 7,75; tektura — 1,1.

[2]) Środki ciężkości różnych brył podają kalendarze i poradniki techniczne, np. „Mały poradnik mechanika" WNT.

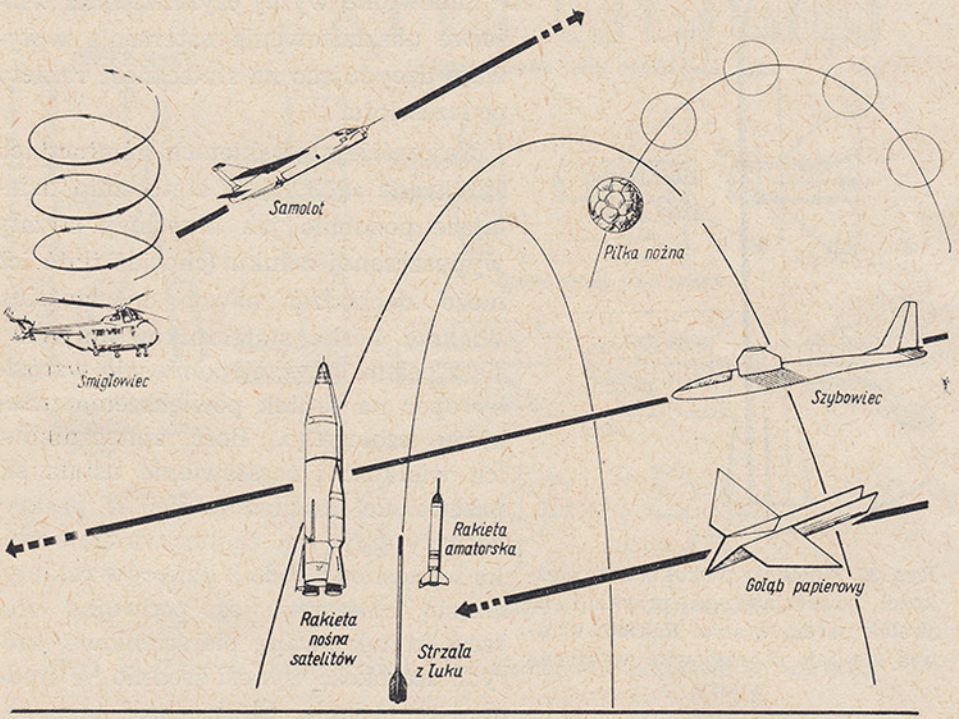
Środek ciężkości znajduje się zatem w odległości

$$\frac{8331\ [\mathrm{Gmm}]}{77\ [\mathrm{G}]} = 108{,}2\ \mathrm{mm}$$

Sprawdzić możemy obecnie, jaka jest odległość między środkiem ciężkości i środkiem parcia i czy zgodnie z założeniem wynosi ona co najmniej pół kalibra

130,9 — 108,2 = 22,7 mm, co czyni $^3/_4$ kalibra rakiety podanej w przykładzie obliczeniowym. A zatem warunek stateczności został spełniony.

Rakieta nie sterowana, a takie są z reguły konstrukcje amatorskie, leci po torze balistycznym (tak jak rzucona piłka) a nie tak, jak leciałby samolot, gołąb papierowy, model latający zaopatrzony w skrzydła wytwarzające siłę nośną. Rysunek 38 wyjaśnia tę zasadniczą różnicę.



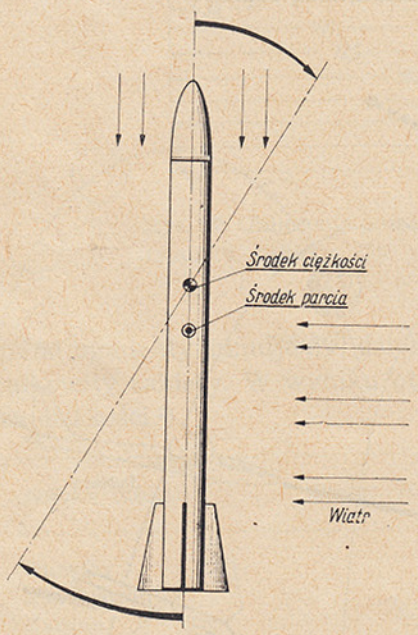
Rys. 38. Porównanie lotu aerodynamicznego z lotem balistycznym

Prawie u wszystkich rakiet silnik umieszczony jest z tyłu, za środkiem ciężkości. Korzystniej byłoby oczywiście umieścić źródło napędu z przodu, wówczas nie powstawałyby kłopoty z momentami. Z tego też względu linia ciągu typowego tylnego silnika musi leżeć na osi symetrii rakiety

i przechodzić przez środek ciężkości. Wymaga to dużej dokładności przy budowie i montażu rakiety.

Rakieta wznosząc się tuż przy ziemi może napotkać wiatr boczny, który będzie się starał odchylić tor lotu działając z pewną siłą w środku parcia. Z powodu małej prędkości własnej w obszarze przyziemnym rakieta będzie miała tendencję do odchylania się w kierunku wiatru (rys. 39).

Załóżmy, że rakieta ma przy starcie prędkość 10 m/sek, a prędkość wiatru wynosi również 10 m/sek. Powstałe opory będą się miały do siebie jak 1 : 1, a rakieta skieruje się w stronę wiatru pod kątem 45°. Jeśli natomiast rakieta po opuszczeniu prowadnic wyrzutni ma prędkość np. 100m/sek, to wówczas stosunek oporów nie wyniesie 100 : 10 = 10 : 1, ale (ponieważ opór rośnie do kwadratu prędkości) $100^2 : 10^2 = 10\,000 = 100 : 1$, czyli wiatr nie zakłóci przebiegu startu.



Rys. 39. Momenty wokół środka ciężkości powstające na przykład na skutek parcia wiatru. Rakieta ustawia się jak chorągiewka w stronę wiatru

Omówione wyżej czynniki oraz właściwe ukształtowanie usterzenia wpływają decydująco na stateczność rakiety podczas lotu.

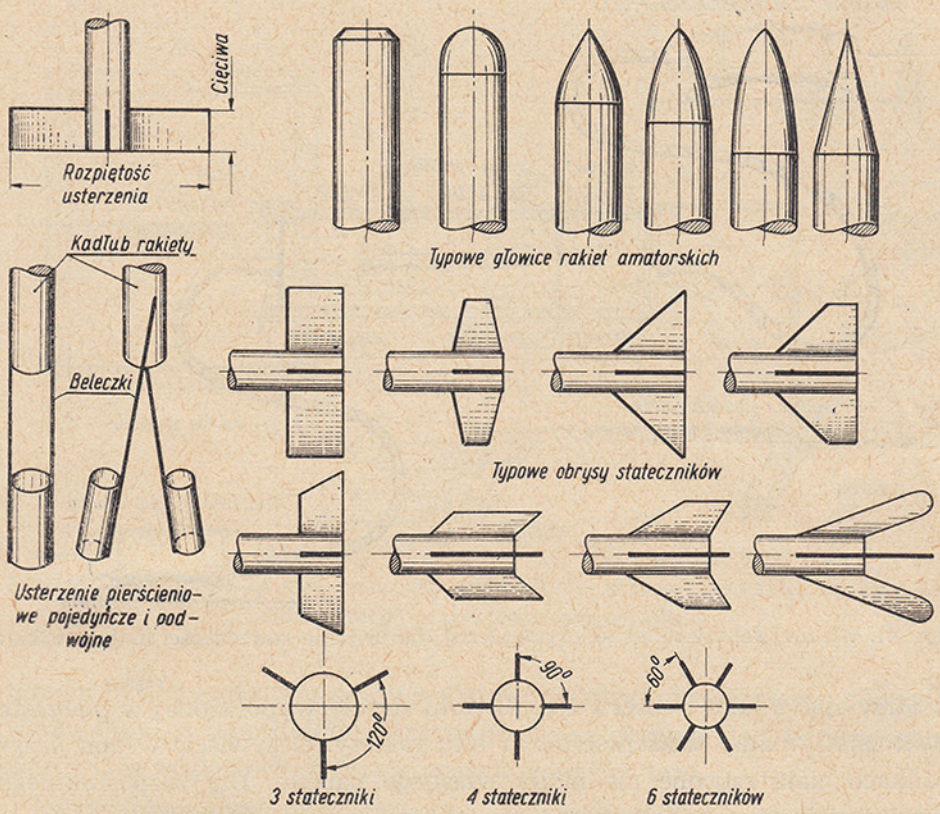
Najczęściej w rakietach amatorskich stosowane są 3 lub 4 stateczniki działające podobnie jak brzechwy strzały wypuszczonej z łuku (chociaż ilość ich może dochodzić nawet do sześciu). Większa liczba statecznikow mijałaby się z celem, gdyż niepomiernie wzrósłby opór na skutek powiększenia przekroju czołowego. Ilość statecznikow, ich wielkość i rozstawienie ustala się przeważnie doświadczalnie. W praktyce przyjmuje się, że cięciwa statecznika wynosi od 1,5 do 2 kalibrów rakiety. Często stosowane są podwójne stateczniki tak zwane pierścieniowe, których szerokość wynosi średnio $^1/_2$ średnicy pierścienia. Skuteczność tego rodzaju statecznikow jest dobra wówczas, gdy średnica pierścieni wynosi co najmniej 2 kalibry rakiety. Małe pierścienie słabo ustateczniają rakietę. Przegląd różnych rodzajów statecznikow podano na rysunku 40. Tu również znajdziemy możliwe do zastosowania kształty głowic.

Chcąc sprawdzić doświadczalnie czy nasza mała rakieta dysponuje pełną statecznością z tym lub innym rodzajem usterzenia niekoniecznie

musimy posługiwać się gotową rakietą — szczególnie jeśli jest dość duża.

Wystarczy jej wierny model w określonej skali wymiarowej i ciężarowej. Za pomocą dwóch odkurzaczy i własnoręcznie sporządzonej skrzynki-przestrzeni pomiarowej — jesteśmy w stanie sprawdzić stateczność każdej małej rakiety we własnym tunelu aerodynamicznym (rys. 41).

Przestrzeń pomiarową tworzy rura sporządzona z przezroczystego tworzywa sztucznego (celuloid, szkło organiczne itp.), którą zamyka z jednej strony aluminiowa przykrywka z odcinkiem rurki, przyklejona na stałe i uszczelniona, a z drugiej strony odejmowana przykrywka

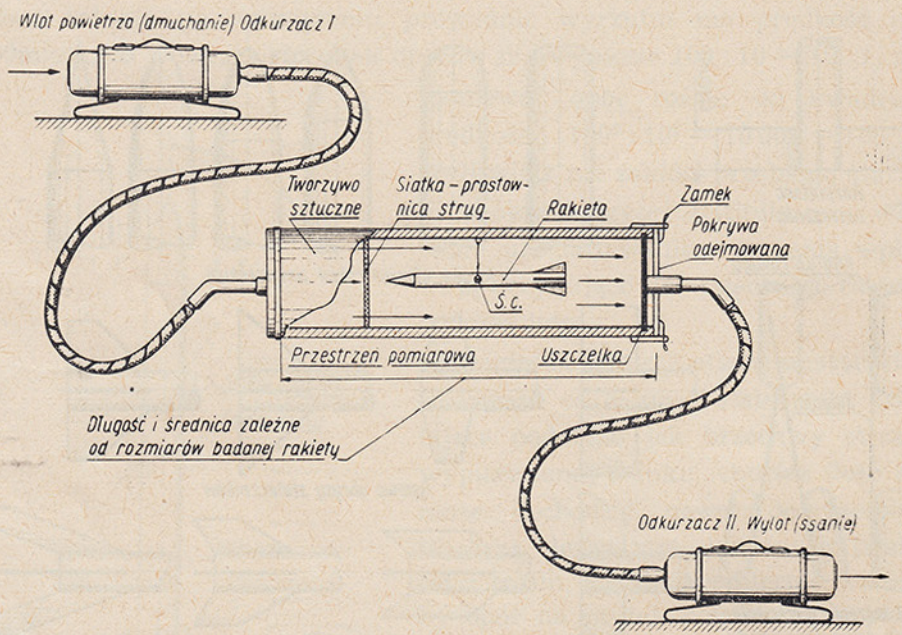


Rys. 40. Typowe układy głowic i stateczników w rakietach amatorskich

uszczelniona zaciskami sprężynującymi. Model (lub mała rakieta) zawieszony jest w przestrzeni pomiarowej, którą można zaopatrzyć w prostownicę strug powietrza — siatką drucianą o oczkach co najmniej 5 mm średnicy — uzyskamy wówczas opływ mniej zaburzony — i poddajemy model dmuchaniu. Model prawidłowo wyważony i prawidłowo ustateczniony zachowa równowagę, gdy nastąpi przepływ powietrza po włączeniu

przedniego wentylatora odkurzacza. Oczywiście przestrzeń pomiarowa musi być dokładnie spoziomowana, co najłatwiej sprawdzić tzw. poziomicą. Tego rodzaju tunel oddaje duże usługi praktyczne i godny jest polecenia do budowy, szczególnie zespołom młodych konstruktorów.

Wspominając o torze lotu rakiety nazwaliśmy go balistycznym. Jak wygląda taki tor lotu? Otóż jest on zgrubsza zgodny z lotem na przykład piłki wyrzuconej w powietrze. Rzucone ciało zatacza mniej lub więcej stromy łuk, opadając następnie ku ziemi. W zależności pod jakim kątem będzie rzucone, spadnie bliżej lub dalej.



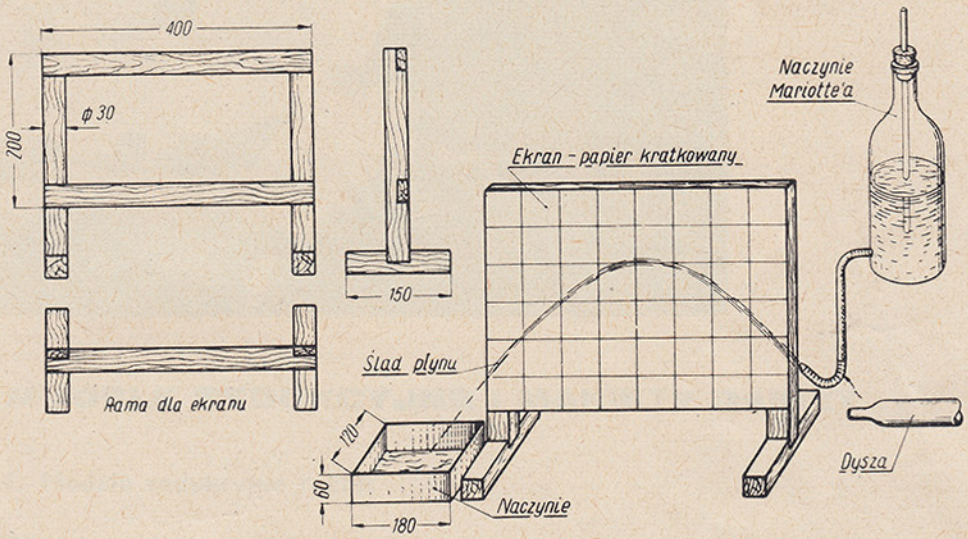
Rys. 41. Własnej roboty tunel aerodynamiczny dla badania stateczności małych rakiet

Strzelając z łuku i obserwując tor lotu strzały wyposażonej w pierzaste stateczniki, mamy właściwie obraz lotu rakiety. Oczywiście w obu przypadkach ciała rzucone nie miały własnego napędu. Dla bezpośredniego sprawdzenia toru balistycznego, po jakim poruszać się będą nasze małe rakiety, warto wykonać doświadczenie analogowe niżej opisane.

Z listew drewnianych sporządzona jest rama (rys. 42), do której przyklejono (zaginając brzegi) arkusz papieru milimetrowego, stanowiący ekran. Obok ekranu ustawiono naczynie (może nim być np. duża wanienka fotograficzna), a powyżej ekranu ustawiono butlę Mariotte'a zaopatrzoną w dwie rurki plastykowe lub szklane, przewód plastykowy z kurkiem i dyszą. Naczynie zamknięte jest korkiem gumowym. Średnica rurki 6—7 mm.

Ekran powleczony jest roztworem fenolftaleiny w alkoholu. Papier pod wpływem zwilżenia zmarszczy się nieco, ale po wyschnięciu roztworu zmarszczki znikną. Do pokrycia ekranu wystarcza około 50 cm^3 roztworu. W butli mieści się natomiast wodny roztwór ługu (około 2 litry). Wystarcza 1 cm^3 ługu stałego na 1 litr wody. Można do doświadczenia użyć także amoniaku.

Otwierając zawór na przewodzie idącym od butli, kierujemy strumień wypływającej cieczy tak, aby przeciął on ekran. Strumień powinien być laminarny, tj. ścisły. Najdogodniejszą prędkość wypływu ustala się poło-



Rys. 42. Doświadczenie umożliwiające wykreślenie krzywej podobnej do toru lotu zakreślanego w powietrzu przez rakiety

żeniem butli i kształtem dyszy wylotowej. Dzięki chemicznemu oddziaływaniu ługu na fenolftaleinę otrzymuje się na ekranie ślad, barwną parabolę, która poglądowo obrazuje poszukiwany tor lotu.

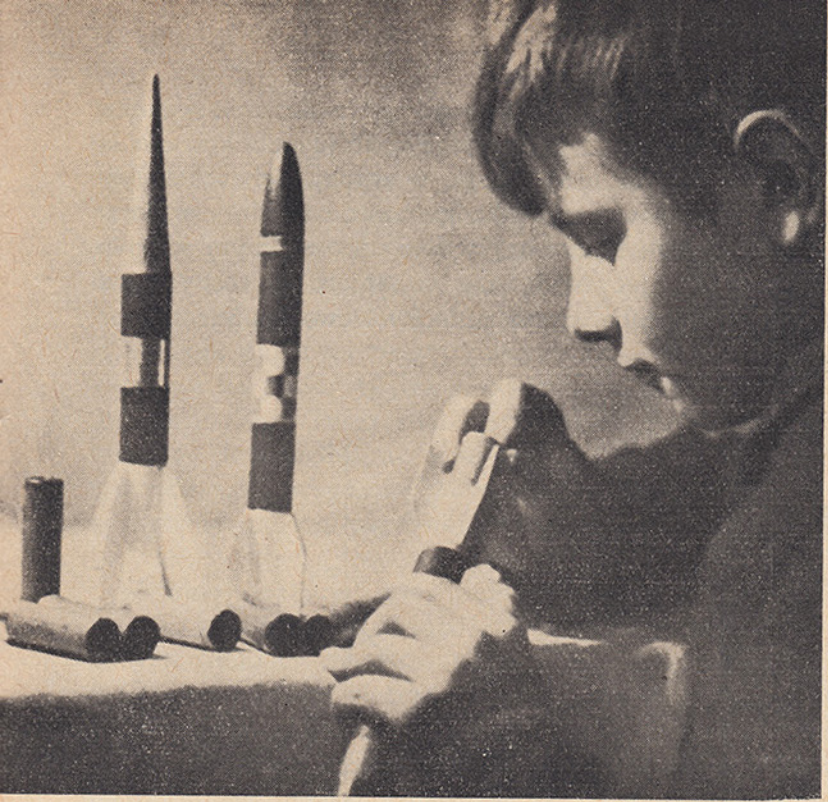
Dzięki papierowi milimetrowemu jesteśmy w stanie prześledzić poszczególne punkty otrzymanej krzywej. Ustawiając dyszę wypływową cieczy pod różnymi kątami uzyskamy szereg krzywych od najbardziej płaskich do stromych.

Przyjąć można, bez popełnienia zbyt dużego błędu, że tor lotu naszych rakiet będzie podobny, chociaż bardziej stromy niż na omówionym przykładzie.

Zagadnieniami ruchu pocisków i rakiet zajmuje się nauka zwana balistyką zewnętrzną w odróżnieniu od balistyki wewnętrznej zajmującej

się procesami zachodzącymi przy spalaniu się różnych środków napędowych.

Krzywa uzyskana z opisanego doświadczenia oraz tor lotu małej rakiety są parabolami podobnymi do tych, jakie kreśli się przy rozważaniach teoretycznych, nie uwzględniając oporu powietrza. Błąd przy stosunkowo niedużych prędkościach rakiet amatorskich wynosi około 5%.



ROZDZIAŁ II

MODELE REDUKCYJNE I MAKIETY RAKIET

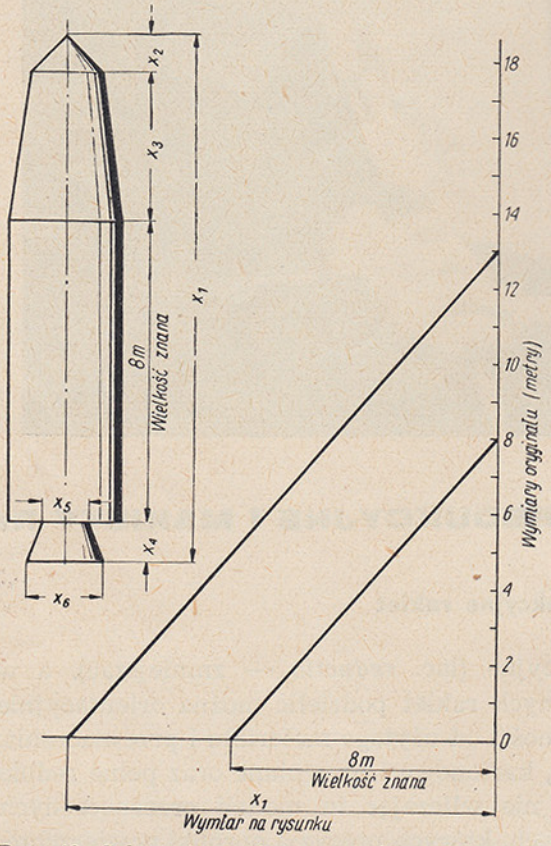
1. Modele redukcyjne rakiet

Modele redukcyjne (łac. *reductio* — zmniejszać), a więc zmniejszone kopie oryginalnych rakiet podzielić można orientacyjnie na następujące grupy, w zależności od użytego materiału i przeznaczenia: modele sylwetkowe, blokowe, kartonowe i drewniane oraz pełne redukcyjne (konstrukcji mieszanej) nie wliczając tu modeli przeznaczonych do naukowych badań tunelowych, których precyzja obróbki powierzchniowej i stosowane stopy metali znacznie przekracza możliwość amatorskiego wykonania.

Modele sylwetkowe. Modele tego typu znane modelarzom lotniczym i morskim, może w nieco odmiennej formie, można z powodzeniem stosować przy poglądowej nauce rozpoznawania poszczególnych typów rakiet. Zaletą tego rodzaju modeli jest łatwość budowy przy minimalnym nakładzie materiałów i duża wartość dydaktyczna, szczególnie gdy wykonany jest większy zbiór sylwetek umożliwiający porównania i ocenę, np. wielkości, ciągu itp. danych rakiet.

Podstawowym materiałem do budowy modeli sylwetkowych jest karton i tektura grubości 0,5—2 mm, sklejka 0,5—0,8 mm lub cienkie deseczki z miękkiego drewna (np. topolowe) łatwego do obróbki.

Podstawą do wykonania modelu sylwetkowego jest posiadanie rysunku danej rakiety w widoku bocznym. Rysunki tego rodzaju publikowane są często w prasie fachowej lub też znajdują się w wydawnictwach książkowych. Przystępując do budowy sylwetki sporządzić musimy wpierw dokładny jej rysunek. Rysunek będzie oczywiście uproszczonym jedynie obrysem rakiety, charakteryzujący wyłącznie zasadnicze jej cechy, takie jak np.: kształt głowicy i kadłuba, dysze silników i ewentualnie boczne



Rys. 43. Schemat pomiaru rysunku, gdy znany jest tylko jeden wymiar

nadbudówki. Pomijamy zatem wszelkie szczegóły niepotrzebne dla modelu sylwety.

Rysunek musi być sporządzony w odpowiedniej skali, tak, aby komplet rakiet można było porównywać. Budowa sylwetek tylko „na oko" według przypadkowo odnalezionego szkicu jest bezcelowa, gdyż oglądający sylwetki nie będą mieli realnego wyobrażenia o wielkości danego zespołu rakiet. Szkice i rysunki publikowane w prasie, rzadko kiedy wykonywane są w odpowiedniej dla nas skali. Stąd też istnieje konieczność wykreślenia rysunku zgodnie z obraną skalą. Ułatwieniem są podawane w cha-

rakterystykach technicznych zasadnicze wymiary takie jak długość i kaliber (średnica). Dysponując zatem szkicem jakiejś rakiety nawet nie zwymiarowanej możemy odczytać nieznane wymiary poszczególnych detali, mając tylko jeden jedyny wymiar. Łatwo tego dokonać sporządzając podręczną skalę (opartą na podobieństwie trójkątów), tak jak to podano na rys. 43. Znana jest np. długość kadłuba, a chcemy wiedzieć jaka jest długość całkowita i średnica.

Na skali pionowej naszej „miarki" odkładamy istniejący wymiar oryginału, a na poziomej (licząc od zera w lewo) odkładamy wielkość jaką ma dany szkic. Teraz zdobyliśmy klucz do odczytania wszystkich wymiarów. Jeśli odłożymy na osi poziomej długość całkowitą według rysunku szkicowego, to prowadząc równoległą do przeciwprostokątnej odczytamy na skali pionowej rzeczywisty wymiar nam brakujący (w mm lub m).

W jakiej skali najlepiej budować modele sylwetkowe? Najwłaściwszą wydaje się skala 1 : 200 lub 1 : 100 dla rakiet dalekiego zasięgu, a zatem dużych. Rakiety mniejsze zgromadzone oczywiście w określoną grupę (np. powietrze—powietrze) wymagają większej skali 1 : 50 lub nawet 1 : 25.

Dla przykładu można podać, że rakieta „Sidewinder" w skali 1 : 25 będzie miała długość całkowitą 120 mm, podczas gdy w skali 1 : 100 wymiar ten wynosiłby zaledwie 30 mm, a zatem brak byłoby czytelności sylwetki.

Przeciętnie wysokość modeli rakiet tego rodzaju, jak „Titan", „Atlas", „Blue-Streak" w skali 1 : 200 wynosi średnio 130—140 mm.

W zależności od wielkości modelu stosujemy odpowiednio grubą tekturę. Dla modeli bardzo małych wystarcza w zupełności karton kreślarski, dla większych karton tzw. „malarski" (klejony z dwóch warstw) lub tektura.

Zanim zapoznamy się z procesem wykonywania sylwetek warto zwrócić uwagę czytelnika na narzędzia, jakimi trzeba się posługiwać, aby uzyskać jak najlepsze rezultaty w myśl zasady: maksimum wydajności przy minimum wysiłku.

Podstawowym narzędziem przy wszelkich pracach modelarskich, nie tylko z kartonu, jest ostry z dobrej stali nóż, nadający się do ostrzenia. Nóż powinien mieć niezbyt długie ostrze i wygodną w trzymaniu rękojeść. Wykluczone jest użycie tzw. scyzoryków, tj. noży składanych, a to z tego powodu, że łatwo się nimi można skaleczyć przez przypadkowe złożenie się ostrza.

Nóż służyć będzie do cięcia kartonu i tektury przy linii, najlepiej metalowej, lub z metalowymi okuciami. Oprócz tego użyteczne w tej wstępnej pracy będą zużyte nożyki do golenia (chronione blaszanym okuciem z jednej strony ostrza), linia z podziałką, trójkąt kreślarski, cyrkiel, ołówek średniej twardości (np. 3H) i klej. Jeśli chodzi o klej, to

do spajania części kartonowych najlepszy będzie acetonowy (np. Crystalcement) bo jest szybkoschnący, chociaż i takie kleje jak rybi (Syndemat), a nawet stolarski (na zimno — kazeinowy) mogą znaleźć z powodzeniem zastosowanie. Wydaje się, że raczej opanowanie techniki klejenia odgrywa nieraz większą rolę niż poszukiwanie idealnego spoiwa łączącego wszystko ze wszystkim. W modelach sylwetkowych klejenie jest stosunkowo nieskomplikowane, pamiętać jednak warto, że powinno być dokonane jak najstaranniej bez niepotrzebnego zabrudzenia części nieklejonych... i ubrania.

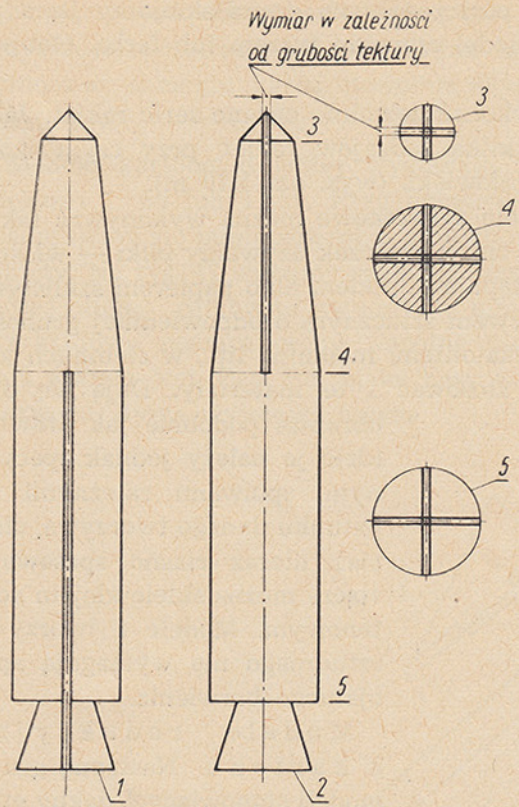
Poza wymienionymi już narzędziami potrzebna będzie jeszcze buteleczka czarnego tuszu albo farba plakatowa tej samej barwy i pędzelek. Gotowe bowiem sylwetki, aby zyskały na wyglądzie, trzeba pomalować na czarno. Jeśli chodzi o karton to godny polecenia jest wyłącznie karton w arkuszach lub z bloków technicznych albo malarskich. Karton z roli zwija się utrudniając pracę.

Karton rysunkowy produkowany jest w grubościach od 0,23 do 0,33 mm, przy czym 1 m^2 waży od 178 do 241 G. Cienki karton o grubości 0,14 mm ma tzw. gramaturę jeszcze niższą, bo wynoszącą 105 G/m^2. To pierwsze zapoznanie się z kartonami różnego rodzaju, a szczególnie z gramaturą, przyda się nam przy budowie bardziej złożonych modeli. Tektura, jaką możemy stosować, mieć będzie gramaturę wynoszącą około 500 G/m^2 i grubość od 0,5 do max. 2 mm. Istnieje wiele gatunków tektury różniących się np. zabarwieniem i wytrzymałością. Dobra do naszych celów jest tektura ścisła, koloru brązowego lub szarego. Tektura porowata i włóknista łatwo pęka i trudno przy jej cięciu uzyskać gładkie, nieposzarpane brzegi. Tymi właściwościami odznacza się tektura biała o grubości ponad 5 mm.

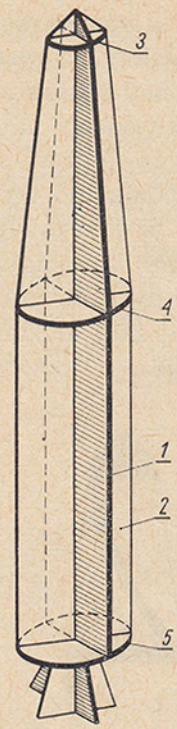
Mając materiały i narzędzia możemy obecnie przystąpić do właściwej pracy. Po wykreśleniu w obranej skali rysunku naszego modelu przenosimy obrys zewnętrzny rakiety na materiał, bądź za pomocą kalki ołówkowej lub rysując go bezpośrednio na materiale (rys. 44).

Model sylwetkowy składa się z dwóch bocznych ścianek *1* i *2* oraz rozpórek (wręg) *3—4—5* wklejonych w trzech miejscach dających pojęcie o ukształtowaniu przekroju poprzecznego (kalibru) rakiety. Obrysy wycinamy dokładnie nożem prowadzonym przy linii. Przy cięciu staramy się oczywiście nie uszkodzić stołu roboczego pokrywając go arkuszem sklejki lub ostatecznie grubszej tektury.

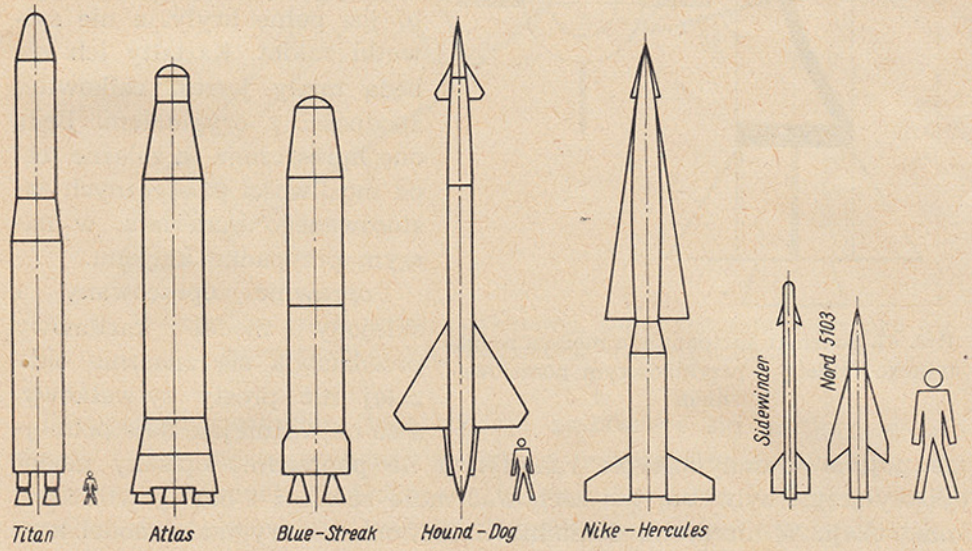
Jak widać z rysunku, obie ścianki mają wzdłużne nacięcia, które są tak usytuowane, że umożliwiają krzyżowe nałożenie ścianek. Szerokość otworów montażowych zależy naturalnie od grubości zastosowanej tektury. To samo dotyczy wręg kołowych. Wręgi najlepiej wycinać cyrklem, w który wkręcono zamiast grafitu stalową igłę. Obracając kilkakrotnie cyrklem wytniemy łatwo i dokładnie kołowe wręgi, czego nożem nie zawsze by się udało zrobić.



Rys. 44. Poszczególne części składowe modelu sylwetkowego rakiety



Rys. 45. Model sylwetkowy po sklejeniu. *1-2-3-4...* — wręgi określające kaliber rakiety

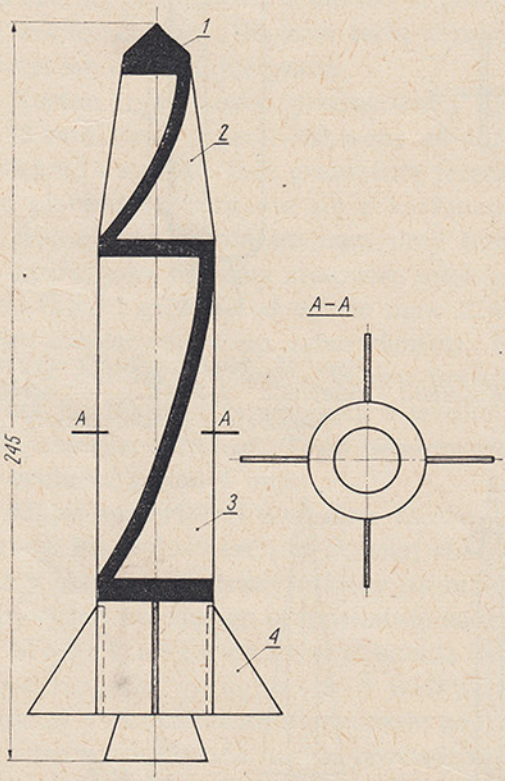


Rys. 46. Szkice wielkich rakiet w różnych skalach. Dla orientacji o wielkości oryginałów narysowano z boku sylwetkę człowieka

Po dokładnym dopasowaniu poszczególnych części sklejamy je, a po wyschnięciu spoiwa barwimy model czarnym tuszem lub farbą. Gotowy model widzimy na rysunku 45.

W podobny sposób można wykonać dowolnie obrane serie rakiet. Jako przykłady podano na rys. 46 kilka rodzajów rakiet, przy czym skalą porównawczą jest tu sylweta człowieka (wys. ok. 1,70 m).

Jak wspomniano wyżej, modele sylwetkowe można wykonywać także z drewna. W tym przypadku do cięcia deseczek używamy piłki — włośnicy (laubzegi), obrabiając je następnie pilnikiem albo papierem szklistym. Jeśli ktoś dysponowałby tworzywem sztucznym o odpowiedniej grubości do obranej skali modelu, np. tekstolitem, melaniną itp., w ciemnych kolorach, może z powodzeniem stosować i te materiały. Dają się one obrabiać podobnie jak drewno, kleić je należy jednak specjalnymi spoiwami zależnymi od gatunku danego tworzywa, chociaż nieraz ciasno spasowane złącze można skleić klejem acetonowym. Modele z tworzywa sztucznego nie wymagają specjalnego barwienia.



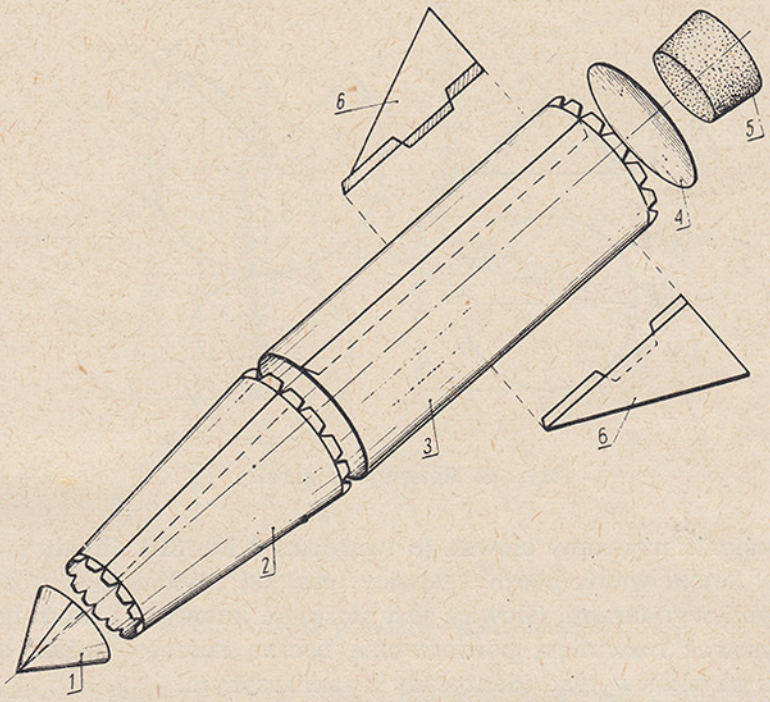
Rys. 47. Schemat kartonowego modelu redukcyjnego rakiety z przykładowym pomalowaniem

Modele redukcyjne z kartonu. Następną grupą modeli stanowiących jakby etap trudności wykonania są modele redukcyjne z kartonu. Będą to już pełne bryły, a nie sylwetki rakiet. Kształty ich nie będą miały jeszcze całkowitej zgodności z oryginałem. Będą one uproszczone co zależne jest od możliwości plastycznych zastosowanego materiału, w naszym przypadku kartonu.

Poprawnie opracowany i sklejony model kartonowy przedstawia się znacznie okazalej niż prosty sylwetkowy, a co najważniejsze daje pełniejsze pojęcie o danym typie rakiety. O ile poprzednio opisany model był wyłącznie sylwetką ten zachować może również i barwy właściwej konstrukcji. W hierarchii dokładności odtworzenia oryginału model kartonowy zaliczyć można do blokowych, gdyż nie występują w nim jeszcze wszystkie cechy oryginału.

Konstrukcja modelu kartonowego nie jest trudna. Na opisanym niżej przykładzie postaramy się prześledzić kolejne etapy budowy, aby móc opracować samemu każdą dowolnie wybraną rakietę lub inny pojazd kosmiczny.

Modele kartonowe lepiej wyglądają i łatwiej je budować w skali większej 1 : 50 lub 1 : 25. Przy opracowywaniu rysunku warsztatowego posługujemy się publikacjami, a szczególnie szkicami i fotografiami danej rakiety. Na rys. 47 widzimy szkic uproszczonej rakiety dalekiego zasięgu, której długość całkowita wynosi 245 mm. Jest to konstrukcja wyłącznie przykładowa nosząca cechy wspólne dla wszystkich rakiet tego typu. Cała rakieta jest żółta lub biała, pasy na kadłubie, głowica i usterzenie czerwone, dysza wylotowa czarna.



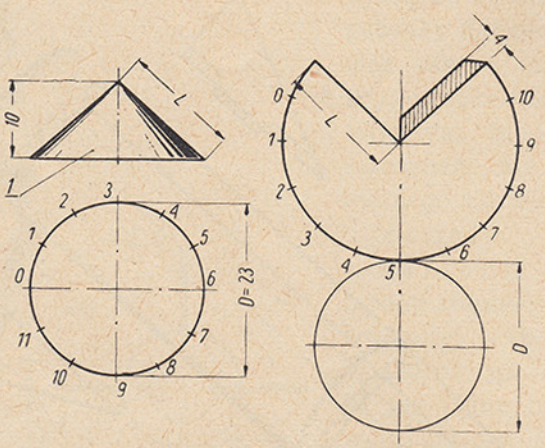
Rys. 48. Poszczególne części rakiety kartonowej. Dla przejrzystości rysunku nie umieszczono dwóch stateczników (u góry i dołu)

Dysponując rysunkiem tego rodzaju zastanowić się musimy w jaki sposób będzie można wykonać z kartonu poszczególne części. Spójrzmy na następny rysunek 48. Dokonano tu rozczłonowania rakiety na części możliwe do wykonania z kartonu. Rozróżniamy zatem stożkowatą głowicę *1*, przód kadłuba *2* będący ściętym stożkiem, kadłub cylindryczny *3*, płaski krążek *4* (zamknięcie kadłuba), dyszę silnika *5*, którą imituje korek

albo kartonowy ucięty stożek i wreszcie usterzenie *6* złożone z czterech „płytek" kartonowych.

Po dokonaniu podziału „fabrykacyjnego" możemy rozpocząć konstruowanie rozwinięć geometrycznych poszczególnych części. Praca ta wymaga dokładności, a także zajrzenia, w przypadku wątpliwości, do podręcznika geometrii.

Kreślenie rozpoczniemy od głowicy. (Rys. 49). Kreślić będziemy na kartonie rysunkowym, który jest materiałem wykonawczym naszego modelu. Najwygodniej stosować karton średniej grubości, zbyt gruby utrudniać może klejenie, gdyż będzie miał skłonność do zwijania się. Oczywiście ideałem jest karton biały (nie porowaty, a gładki) ale w braku tegoż można z powodzeniem stosować każdy inny nawet od zeszytowych okładek, pod warunkiem, że nie są zmięte i zatłuszczone.

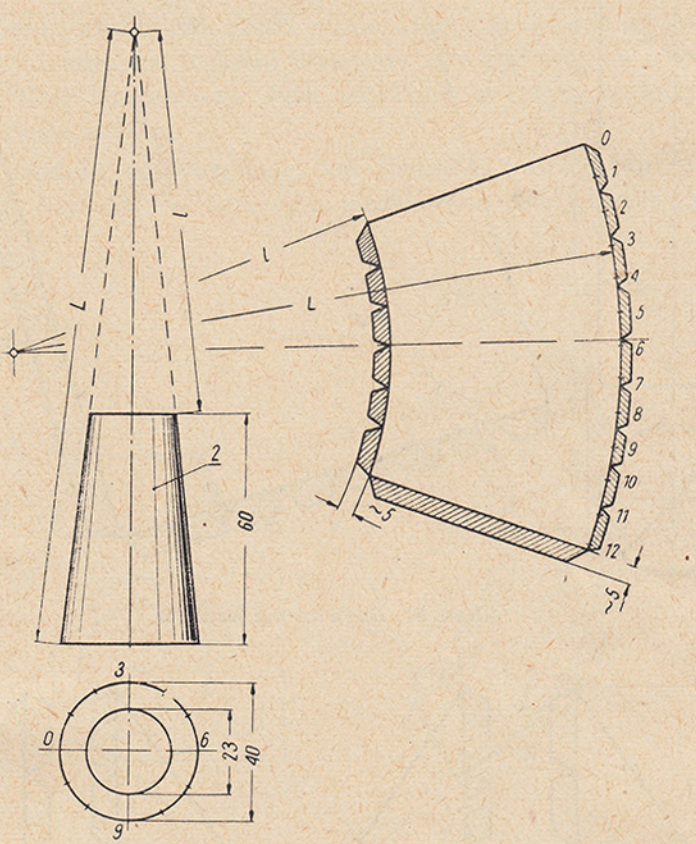


Rys. 49. Rozwinięcie głowicy

Do kreślenia używamy ołówka (o twardości 2 lub 3H), liniału i cyrkla. Kreślimy zatem widok boczny głowicy (rys. 49) i widok z góry zgodnie z podanymi wymiarami. Głowica jest stożkiem kołowym i musimy obecnie narysować rozwiniętą powierzchnię boczną naszego stożka, aby po sklejeniu uzyskał wygląd identyczny z zamierzonym.

Na rysunku podano jeden z najprostszych sposobów rozwinięcia. Polega on na podziale obwodu podstawy stożka na pewną liczbę części (np. 12) oraz odmierzeniu uzyskanych w ten sposób odcinków na łuku zatoczonym promieniem *L*, równym tworzącej naszego stożka. Dla umożliwienia sklejenia powierzchni bocznej dodajemy jeszcze margines 4—5 mm szerokości. Po złączeniu obu brzegów uzyskamy pożądany kształt stożka-głowicy, ale to nastąpi dopiero po wycięciu tej części z kartonu. Na razie jednak nic nie wycinamy dopóki nie skończymy kreślenia wszystkich części.

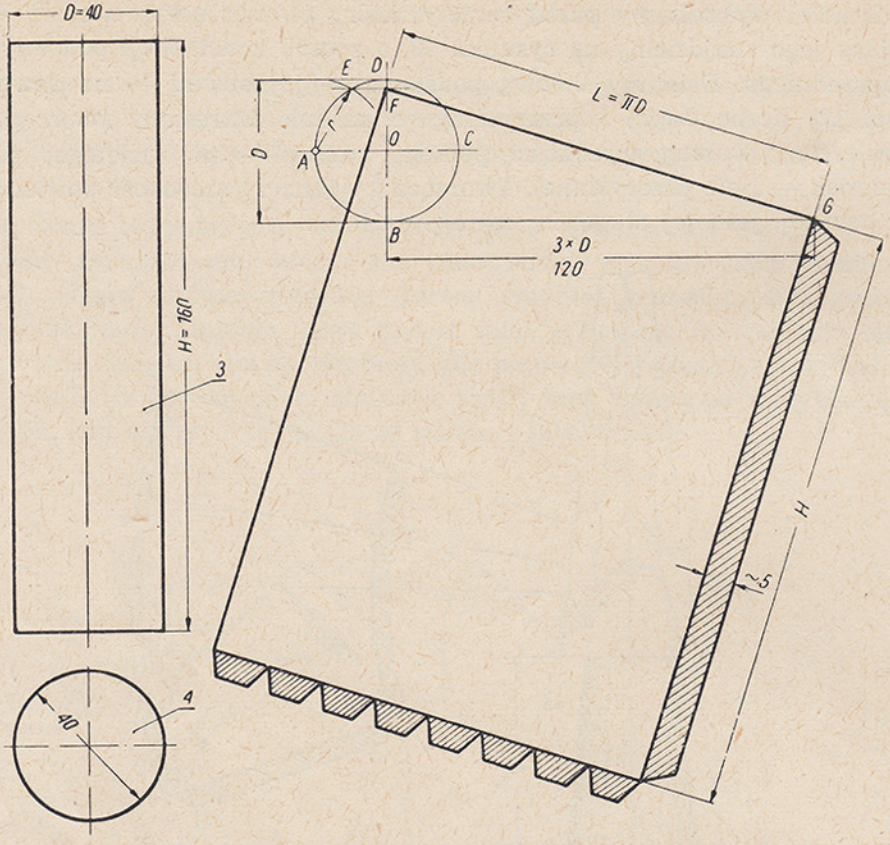
Z kolei wykreślamy przód rakiety, który tworzy ucięty stożek. Wymiary jego znajdziemy na rysunku 50, a sposób konstrukcji podobny do poprzedniego. Dzielimy kołową podstawę — jej obwód — na dowolną (np. 12) liczbę części i przenosimy je na łuk zakreślony tworzącą *L* (zmierzoną według wysokości pełnego stożka — nie uciętego; patrz rysunek — linie przerywane). Tworząca *l* wyznaczy szerokość powierzchni bocznej, jeśli jej długością zakreślimy łuk.



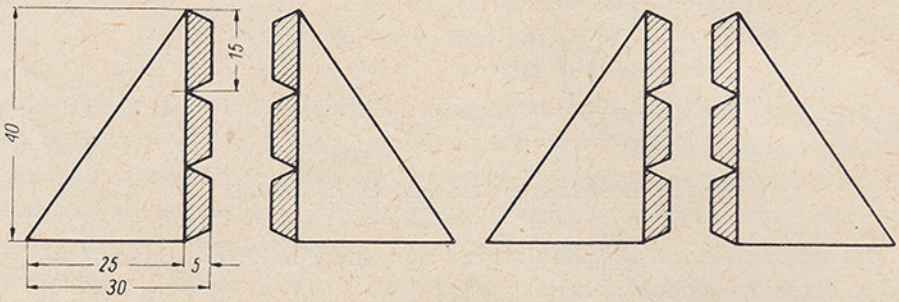
Rys. 50. Rozwinięcie przedniej części kadłuba

Dla umożliwienia sklejenia stożka dorysowujemy marginesy tzw. „ząbki" o szerokości około 5 mm.

Cylindryczną, środkową część kadłuba, również musimy rozwinąć. Spójrzmy na rysunek 51. Pracę rozpoczynamy od wykreślnego wyznaczenia długości obwodu koła o średnicy $D = 40$ mm. Po wykreśleniu koła oznaczamy jego średnice *AC* i *DB*, po czym z punktu *A* promieniem *DO* zakreślamy łuk do przecięcia się jego z okręgiem w punkcie *E*. Z punktu *E* kreślimy odcinek *EF* równoległy do *AC*. Przez punkt *B* prowadzimy styczną do okręgu i na niej od punktu *B* odkładamy kolejno trzy średnice *D* (do punktu *G*). Następnie łączymy punkty *F* i *G*. Odcinek ten jest



Rys. 51. Rozwinięcie kadłuba



Rys. 52. Cztery stateczniki

równy w przybliżeniu obwodowi koła o średnicy D i wynosi $L = \pi \cdot D$. Po wykreśleniu całego prostokąta, będącego rozwinięciem powierzchni bocznej walca prostego, rysujemy „ząbki" umożliwiające późniejsze sklejenie.

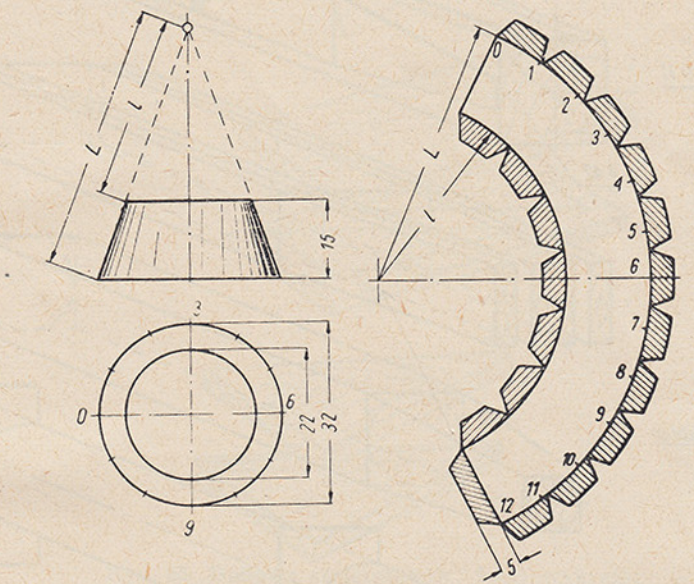
Wykreślenie czterech stateczników *6* według wymiarów podanych na rysunku 52 nie powinno nastręczać najmniejszych trudności.

Ostatnią częścią jaka pozostała do rozwinięcia jest dysza silnika. Kto nie miałby korka podanej średnicy może część tę wykonać z kartonu według rys. 53 wykonanego w taki sam sposób jak rys. 50. Obok sposobu rozwinięcia podano tu również widok zagiętych ząbków.

Uzupełnieniem części wyżej wymienionych będą dwa krążki: jeden o średnicy 40 mm, zamykający kadłub, a drugi o średnicy 32 mm zamykający (i usztywniający) wylot silnika.

Po wykreśleniu wszystkich części numerujemy je w podanej kolejności i starannie wycinamy nożyczkami uważając aby ciąć wzdłuż (raczej trochę z boku) linii konturowej. Jeśli użyliśmy grubego kartonu lepsze wyniki daje cięcie nożem.

Składanie modelu rozpoczynamy od nadania walcowatym częściom odpowiedniego kształtu. W tym celu płaszczyznę danej części „przecią-



Rys. 53. Rozwinięcie dyszy wylotowej

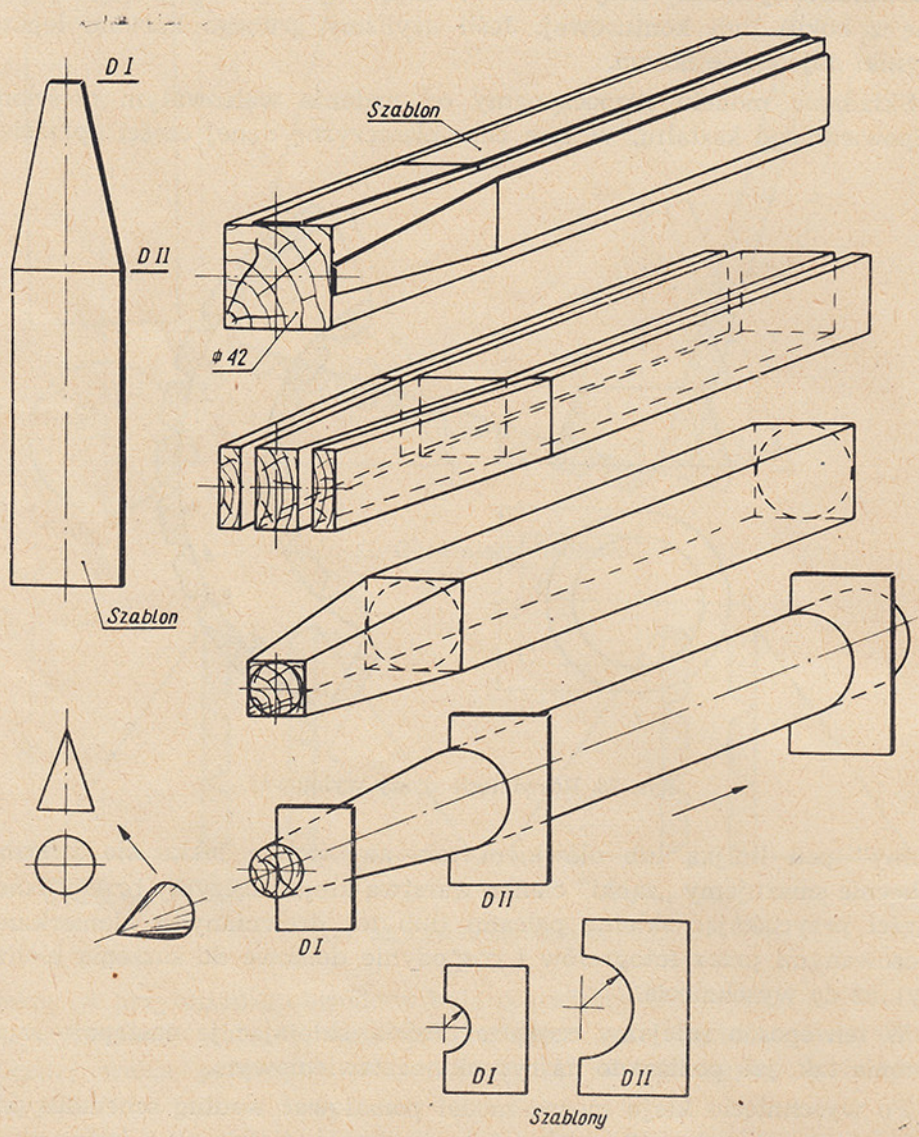
gamy" pod linijką lub ołówkiem tak, aby potem lekko się zwijała. Obecnie smarujemy „ząbki" cienką warstwą kleju i łączymy brzegi danej części przyciskając skleinę palcami (lub też drewnianymi klamerkami stosowanymi przez fotografów i gospodynie domowe do suszenia bielizny), aż do wyschnięcia.

W ten sposób sklejamy część za częścią, sklejając je następnie wzajemnie tak, jak podano to na rysunku zestawieniowym.

Po wyschnięciu kleju można model pomalować według schematu podanego na rysunku 47, posługując się farbą wodną albo kolorowym tuszem.

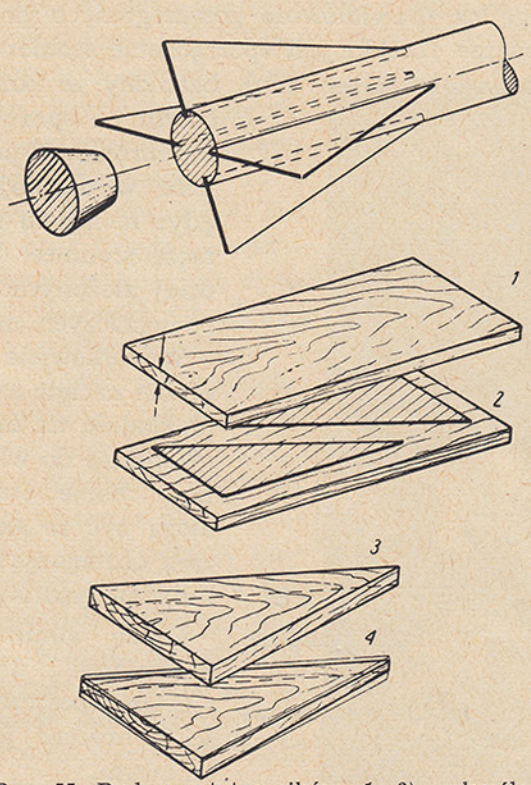
Czysto sklejony model przedstawia się efektownie, a jeśli jest kopią określonego typu rakiety warto namalować na nim wszystkie jej charakterystyczne oznaczenia literowe i liczbowe.

Modele blokowe z drewna. Modele blokowe, a więc schematyczne, nie należą jeszcze do grupy „pełnej redukcji". Służą one jedynie celom szkoleniowym. Niżej omówiono sposób wykonania tego rodzaju modelu, gdyż będzie on przejściowym dla bardziej zaawansowanych modelarzy, zdolnych wykonać dokładną miniaturę danej rakiety.



Rys. 54. Poszczególne fazy obróbki modelu redukcyjnego z drewna przy użyciu szablonów

Modele blokowe budować można właściwie z każdego suchego i miękkiego drewna. Do tego celu najlepiej nadaje się drewno olchy, lipy i topoli. Drewno sosnowe jest materiałem mniej przydatnym. Oprócz drewna istnieje możliwość wykonywania modeli z piankowego tworzywa sztucznego zwanego „styropianem" [1]). Daje się ono bardzo łatwo obrabiać ostrym nożem i papierem ściernym, a kleić je można klejem kazeinowym. Wspominamy tu o „styropianie" gdyż wykorzystanie tego materiału skraca prawie o połowę czas budowy.



Rys. 55. Budowa stateczników: *1—2)* wykreślanie obrysu na desce i wycinanie, *3—4)* sprofilowanie

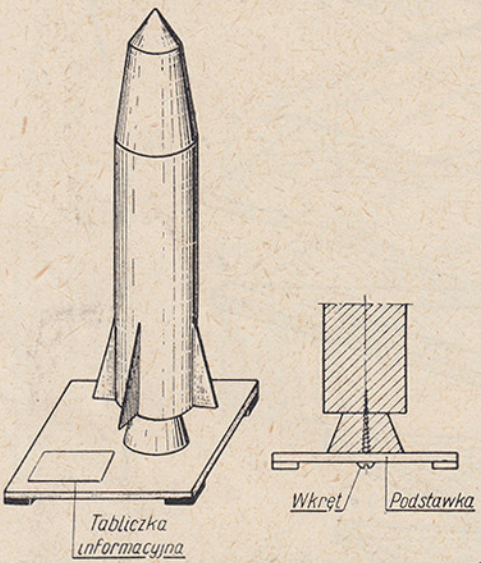
Przed przystąpieniem do budowy modelu przygotowujemy, jak omówiono to uprzednio, możliwie dokładny plan rakiety w określonej skali. Wygodnie jest wykonać ze sklejki (1 mm grubości) szablon widoku bocznego. Wówczas praca nasza będzie znacznie dokładniejsza.

Na rysunku 54 pokazano poszczególne stadia budowy modelu. Po przygotowaniu klocka o odpowiednich rozmiarach wyznaczamy na nim linie osiowe (takie same linie ma nasz szablon). Obecnie na obu bokach odrysowujemy (wygodny jest do znakowania drewna długopis) obrysy według szablonu, przykładając go wzdłuż linii osiowych.

[1]) Tworzywo to używane jest w budownictwie i chłodnictwie do izolacji.

Najpierw wycinamy, na przykład, obrys „z góry" posługując się krótką piłką stolarską lub krzywką zaopatrzoną w piłeczkę do drewna. Największą trudność stanowi prostopadłe prowadzenie piłeczki, nieodzowne, gdyż inaczej otrzymamy bryłę nieprawidłową. Następnie wycinamy obrys „z boku", uważając na prostopadłość cięcia. Obecnie na naszym klocku (z przodu i z tyłu) kreślimy koła wyznaczając tym samym średnice według rysunku warsztatowego.

Właściwą obróbkę przeprowadzamy teraz za pomocą noża i tarnika, zwracając uwagę na prawidłowość poszczególnych przekrojów. Dużym ułatwieniem podczas obróbki jest sporządzenie szablonów z tektury lub sklejki (grubości około 1,5—2 mm). Szablony te pozwalają w każdej chwili na sprawdzanie dokładności obróbki. W przykładowym modelu wystarczają dwa szablony, gdyż mamy tu tylko dwie zasadnicze średnice. W modelach bardziej złożonych liczba szablonów pomocniczych może wzrosnąć.



Rys. 56. Umocowanie modelu na podstawce zaopatrzonej w tabliczkę informacyjną

W całkowicie obrobionym kadłubie nacięte są cztery wzdłużne (dokładnie na osi symetrii) otwory służące do wklejenia stateczników. Same stateczniki wycięte mogą być ze sklejki lub z deseczek obrobionych w sposób pokazany na rysunku 55 (*1—2—3—4*).

Dyszę silnika tworzy kołek drewniany. Wymiary modelu, a zatem i poszczególnych jego części identyczne, jak w modelu kartonowym.

Do klejenia modelu można używać każdego kleju przeznaczonego do drewna, a najwygodniejszy w użyciu jest kazeinowy (nazwa fabryczna „Certus") stosowany na zimno. Warunkiem pomyślnego spojenia poszczególnych części jest dokładne wzajemne dociśnięcie podczas wysychania kleju.

Sklejony model oczyszczamy z resztek kleju miałkim papierem szklistym, malując następnie lakierem „nitro" na żądany kolor. Lakierować należy dwu, trzykrotnie cienką warstwą czekając za każdym razem aż lakier przeschnie. Jeśli powierzchnia modelu była dobrze oczyszczona otrzymamy piękne i błyszczące pokrycie.

Jeśli model stanowić będzie fragment jakiegoś większego zespołu warto go zaopatrzyć w podstawkę drewnianą, na której z boku umieszcza się

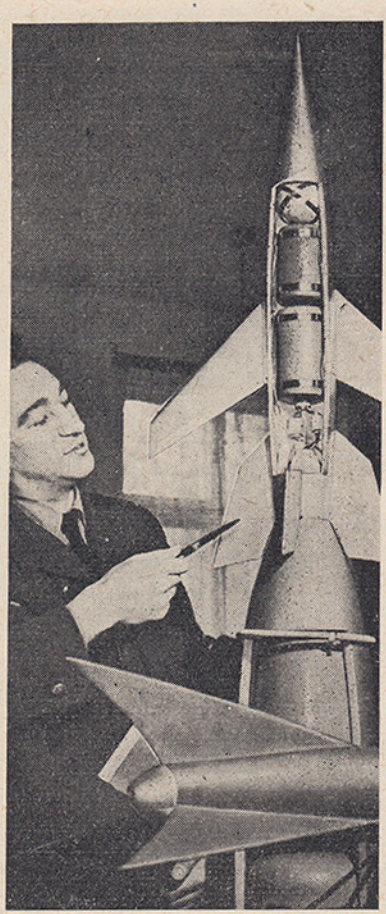
dane techniczne i osiągi danej rakiety. Można je napisać tuszem na arkusiku papieru, na który przyklejamy odcinek cienkiego celuloidu stanowiący ochronę przed zabrudzeniem (rys. 56).

Model blokowy choć jeszcze pozbawiony szeregu szczegółów, przedstawia się znacznie korzystniej od kartonowego, a co najważniejsze jest trwalszy.

Modele redukcyjne. Stanowią one najwyższą grupę jeśli chodzi o dokładność wykonania i zgodność z oryginałem. Dzielić się mogą przy tym jeszcze na dekoracyjne, szkoleniowe i muzealne. Różnica będzie nieznaczna, tyle tylko, że dekoracyjne mogą stanowić uzupełnienie jakiegoś przedmiotu (np. lampy, popielniczki itp.), a pozostałe przeznaczenie swoje określają jedynie jakością wykonania.

Materiałem dla tego rodzaju modeli jest zasadniczo drewno, choć i metal, a szczególnie miękkie aluminium, znajduje chętnych wykonawców. Najczęściej modelarz nie gardzi żadnym materiałem, za pomocą którego może tylko oddać jak najlepiej szczegóły swojego modelu. Tak więc nie należy też pogardzać tworzywem sztucznym (nawet jego odpadkami), drutem, kartonem, drewnem, blachą, a nawet cynfolią, która naklejana jako pokrycie imituje świetnie metalową skorupę rakiety.

Decydująco o wyglądzie gotowego modelu nie świadczy jednak zastosowany materiał, a ostateczne wykończenie, tj. malowanie. Posługiwać się więc musimy najlepszymi firmowymi wyrobami, bądź typu „nitro" albo, kto ma wprawę, zwykłymi farbami olejnymi.



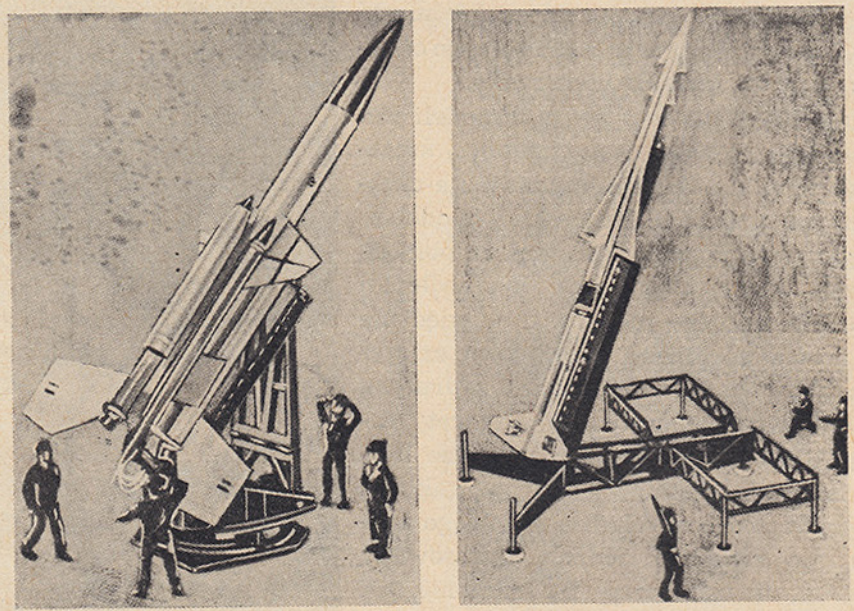
Rys. 57. Model redukcyjny-poglądowy, częściowo przekrojony dla uwidocznienia konstrukcji wewnętrznej rakiety na paliwo płynne

Gotowy model może być umieszczony na podstawce, a jeszcze lepiej na oryginalnej wyrzutni stałej lub ruchomej, przeznaczonej dla danego typu rakiety.

Często do celów szkoleniowych buduje się duże modele rakiet w częściowym przekroju (rys. 57) uwidaczniającym szczegóły konstrukcji, np. układ zasilania, wyposażenia głowicy itp. Ten rodzaj modeli jest

znacznie trudniejszy gdyż wymaga od wykonawcy gruntowniejszych wiadomości konstrukcyjnych i współdziałania poszczególnych części.

W końcu wspomnieć należy o modelach redukcyjnych produkowanych masowo z tworzyw sztucznych, a sprzedawanych w zestawach do samodzielnego sklejania. Modele tego rodzaju w zależności od powagi wytwórni produkowane są dość dokładnie i w określonej skali. Jedna z czołowych wytwórni amerykańskich oferuje kompletny zestaw modeli wszystkich rodzajów rakiet istniejących na świecie. Rakiety takie składają się z dość wielkiej liczby części. Na przykład brytyjska wytwórnia oferuje model rakiety typu ziemia-powietrze „Bloodhound" składający



Rys. 58. *a)* Plastykowy model rakiety „Bloodhound" złożony z 125 części, *b)* — model rakiety „Nike" złożony z 81 części. Oba produkcji brytyjskiej

się ze 125 części — łącznie z wyrzutnią i... obsługą (!) Wysokość modelu około 330 mm. Rys. 58. Do modeli, które zasadniczo mają barwę aluminium dodawane są specjalne lakiery (olejne) i „kalkomanie" umożliwiające właściwe oznaczanie modelu.

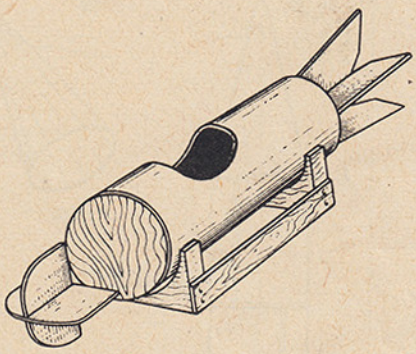
Składanie, a właściwie sklejanie odpowiednim firmowym klejem (polska nazwa „Plexicement") modelu plastykowego jest dziecinnie proste. Wystarczy tylko uważnie śledzić instrukcję montażową wykonaną najczęściej w postaci przejrzystego rysunku. Bardziej wymagający modelarz zmuszony będzie jedynie do użycia małego iglicowego pilniczka, aby dokładniej spasować niektóre części, pogłębić otwory itp. — jednym słowem, usunąć rzadko zresztą zdarzające się niedokładności seryjnego odlewu.

Warto dodać, że oprócz typowych rakiet produkowane są w zestawach różne inne modele pojazdów kosmicznych, stacji międzyplanetarnych i sztucznych satelitów Ziemi.

2. Makiety rakiet

Makietą nazwiemy konstrukcję bardzo ogólnie przypominającą swym wyglądem rakietę — przedmiot naszego zainteresowania. Model lub lepiej przedmiot tego rodzaju niejednokrotnie symbolizuje pojazd kosmiczny.

Makietą może być równie dobrze na przykład huśtawka albo skrzynka do zabaw w ogródku jordanowskim, pokazana na rys. 59. Taki „pojazd" wykonany jest ze sklejki i drewnianych wręg. Kadłub może stworzyć gotowa rura z prasowanych włókien sztucznych, w której wycięto otwór dla „kosmonauty". Podstawa drewniana umiejscawia makietę. Rozmiary i dobór barw można pozostawić do wyboru wykonawcom.



Rys. 59. Podróż w takim pojeździe międzyplanetarnym — nie sprawia trudności nawet najmłodszym astronautom, tym bardziej, że znajdować się on może w każdym miejscu zabaw

Innym rodzajem makiety, ale już latającej, będzie balon. Bibułkowy balon na ogrzane powietrze można bowiem tak ukształtować, że „zawieszony" w powietrzu może imitować doskonale prawdziwą rakietę.

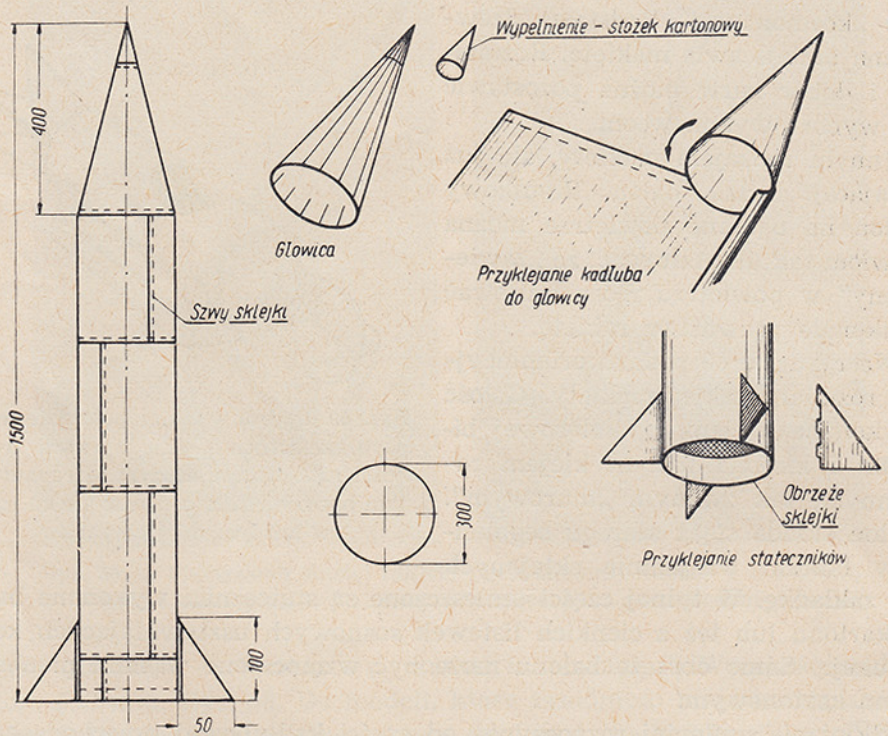
Na rysunku 60 podano orientacyjne rozmiary takiej makiety. Całość wykonana z cienkiej, kolorowej bibułki i klejona białym klejem roślinnym, tak zwanym „biurowym". Balon składa się z szeregu segmentów bibułki wzajemnie sklejonych na zakładkę. W tylnej części umieszczone są stateczniki wykonane bądź z kartonu lub też z cienkich listewek sosnowych usztywniających konstrukcję. Samo obrzeże balonu może być wzmocnione wąskim pierścieniem kartonowym.

Sklejanie najlepiej rozpoczynać od części kadłubowej przechodząc do głowicy, a następnie do usterzenia. Gotowy balon (powinien być szczelny) wypełnia się ogrzanym powietrzem umieszczając go po prostu nad małym paleniskiem, lampką spirytusową lub naftową. Podczas startu uważać należy na równomierne napełnianie się balonu. Potrzebni są przy tej czynności dwaj pomocnicy, którzy utrzymują balon w pozycji pionowej nad źródłem ognia. Otwór wlotowy powietrza należy trzymać nie nad samym płomieniem (balon się spali), a w odległości około 0,5—1 m nad płomieniem. Tu powietrze ogrzewa się znacznie intensywniej. Gdy temperatura powietrza w balonie-makiecie będzie wystarcza-

jąca i gdy on wypełniony zostanie całkowicie tym ciepłym gazem lżejszym od otaczającego go chłodnego powietrza, wysunie się lekko z rąk trzymających, unosząc się ku górze.

„Balon-makieta" służy nie tylko zabawie, ale uświetnić może niejedną imprezę popularyzującą nowoczesny sprzęt lotniczy. Uważny Czytelnik z łatwością zauważy, że przy opracowywaniu tej makiety można posługiwać się zasadami wykreślnego rozwijania powierzchni walcowatych opisanych uprzednio.

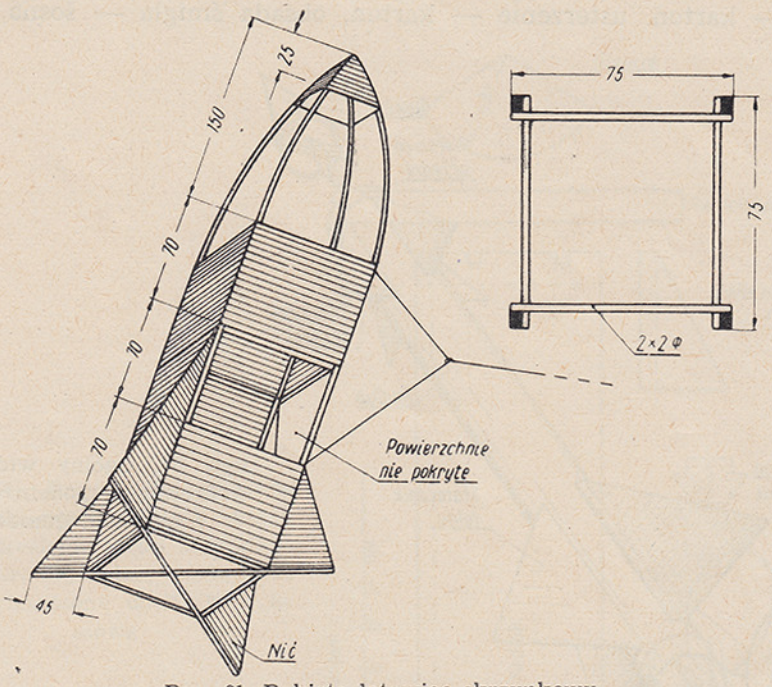
Inny rodzaj makiety podano na rysunku 61. Jest to latawiec skrzynkowy, któremu nadano „rakietowe" kształty. Do budowy można użyć listewek sosnowych o przekroju 2 × 2 mm, tworzących szkielet latawca.



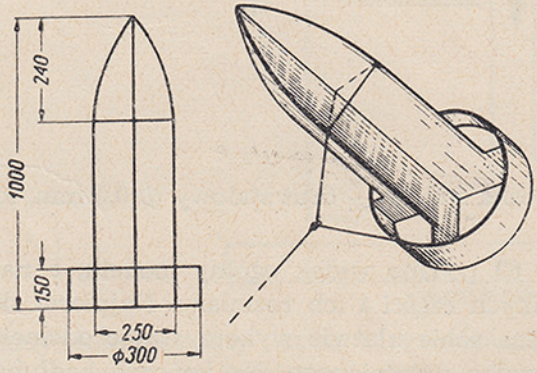
Rys. 60. Rakieta-balon wykonana z bibułki i unoszona ogrzanym powietrzem z nad paleniska

Pokrycie stanowi papier pakunkowy (najmocniejszy jest cienki z gatunku „natron") albo cienka tkanina: batyst, jedwab, nylon itp. Zasadnicze rozmiary latawca podano na rysunku i powinny one wystarczyć zainteresowanym. Latawiec tego typu nie wymaga „ogona" w postaci warkocza. Warunkiem uzyskania jak najlepszej stateczności w powietrzu jest pokrycie powierzchni bocznych zgodnie z rysunkiem.

Drugą makietą jest podany na rysunku 62 latawiec „Wostok", upodobniony do słynnego radzieckiego pojazdu kosmicznego z 1961 r. Szkielet wykonany jest z listew sosnowych, pokrycie papierowe. Wymiary uzależnione są od możliwości wykonawczych. Przyjąć należy minimalną



Rys. 61. Rakieta-latawiec skrzynkowy

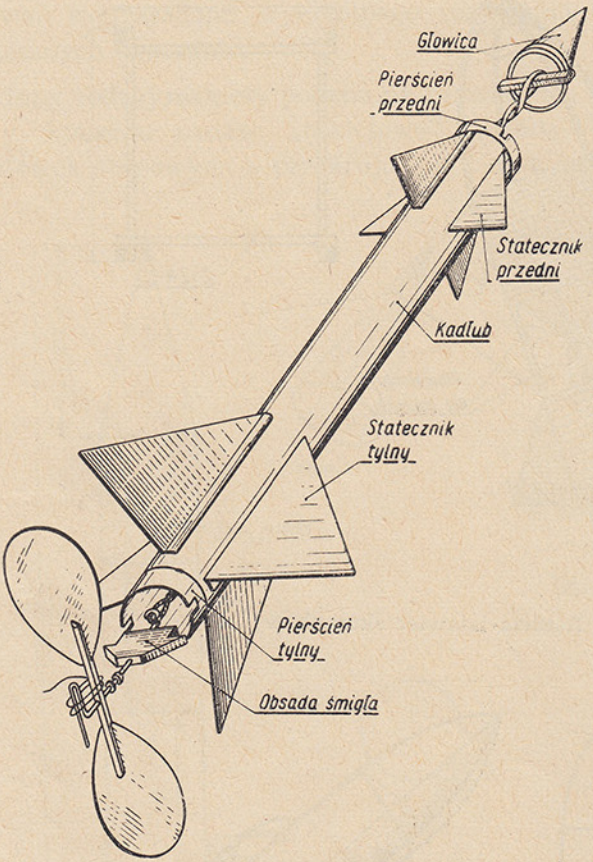


Rys. 62. Pojazd kosmiczny „Wostok" jako latawiec

długość 1000 mm, a średnicę kołowego usterzenia 300 mm. Do latawca należy doczepić „ogon" — warkocz papierowy o długości około trzykrotnie większej od kadłuba, co ustalić łatwo doświadczalnie.

Bardzo interesująco przedstawia się latająca makieta rakiety w postaci małego modelu zaopatrzonego w silnik gumowy i śmigło. [1])

Model nie jest trudny do budowy. Można go wykonać w ciągu 2—3 godzin. Rakieta zbudowana jest z kartonu, drewna sosnowego, drutu, nici i kleju. A oto części składowe: głowica stożkowa — karton, kadłub rurowy — karton, usterzenie — karton, obsada śmigła — sosna, piasta



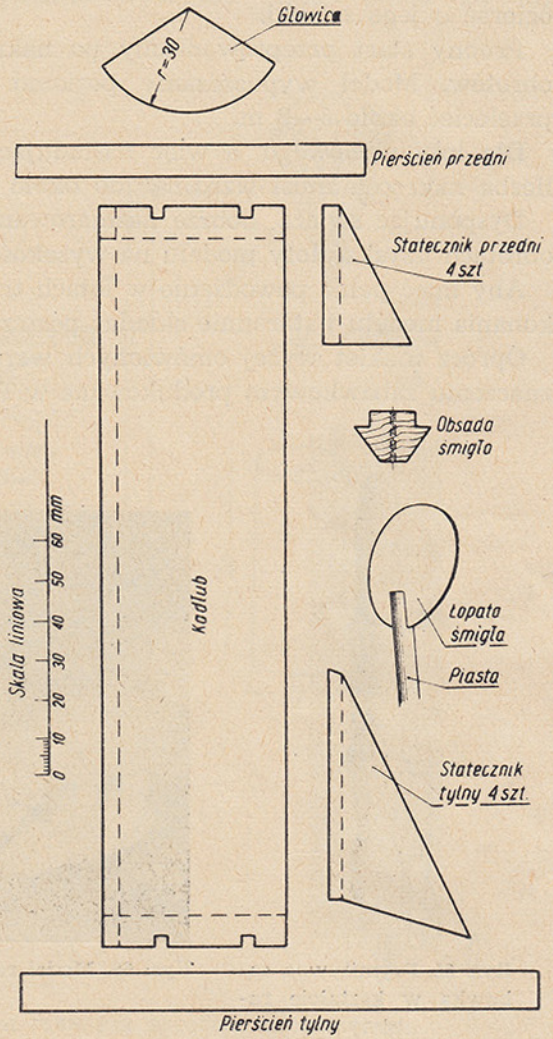
Rys. 63. Ogólny widok sylwetkowego modelu rakiety z napędem gumowym

śmigła — sosna, oska śmigła — drut stalowy ϕ 0,5 mm, łopatki śmigła — karton.

Na rysunku 63 podano widok ogólny modelu, a na rys. 64 rozwinięcie poszczególnych części i ich rozmiary. Najpierw sklejamy kadłub. Czynność tę można sobie ułatwić wykorzystując odcinek pasującego do danej średnicy wałka drewnianego. Na końcach kadłuba wkleić należy dwa kartonowe pierścienie usztywniające rurę. Potem w oznaczonych miejscach wklejamy 4 stateczniki przednie i 4 tylne ustawiając je na osi symetrii. Przygotowujemy z kolei przedni uchwyt gumy napędowej

[1]) Opracował ją *W. Matwiejew*, instruktor Pałacu Pionierów w Baku (ZSRR).

(sosna 3 × 3 × 25 mm) i obsadę śmigła, w której wiercimy otwór o średnicy nieco większej od zastosowanej ośki. Piastę śmigła tworzy listewka 3 × 3 mm długości 45 mm. Piasta nacięta jest na końcach (po przekątnej listewki) dla wklejenia łopatek śmigła. Ośka wygięta z drutu stalowego przechodzi przez obsadę, dwie podkładki celuloidowe lub



Rys. 64. Rozwinięcie kadłuba i rysunki poszczególnych części. Do wykreślenia części w wielkości naturalnej należy posługiwać się zamieszczoną obok skalą liniową

koralik drewniany zmniejszający tarcie i przez piastę śmigła. Koniec ośki jest zgięty i przywiązany do piasty śmigła szarą nicią tzw. szewską na klej.

Łopatki śmigła sklejamy z 2—3 warstw cienkiego kartonu, aby uzyskały lepszą sztywność i osadzamy je w nacięcie 15 mm długości. Do umieszczenia obsady i uchwytu gumy wycinamy nożem po dwa otwory u góry i u dołu kadłuba rakiety.

Do napędu modelu zastosujemy pasmo gumy o długości 420—430 mm i przekroju 1 × 4 lub 1 × 6 mm. Końce gumy wiążemy silnie nicią. Uzyskany „warkocz" zaczepiamy o uchwyt drewniany i haczyk-oskę śmigła. Tak przygotowany silnik smarujemy lekko gliceryną, aby pasma przy pracy nie sklejały się i guma starczyła na dłuższy przeciąg czasu. Silnik powinien znajdować się dokładnie na osi kadłuba i nie ocierać o jego ścianki.

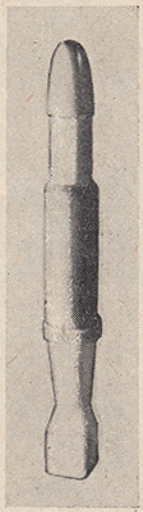
Próbny start przeprowadzamy po nakręceniu śmigłem około 50—70 obrotów. Model wypuszczamy poziomo. Dobrze wykonany powinien przelecieć około 6—8 m.

Dla lotu pionowego, a więc naśladującego start prawdziwej rakiety, liczba nakręceń musi wzrosnąć do około 100—120.

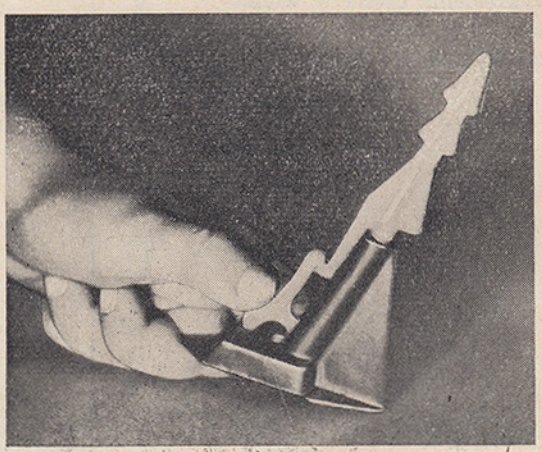
Dysponując świeżą, dobrze nasmarowaną gumą, można przy 400—450 obrotach uzyskać loty modelu na wysokość rzędu 25—30 m.

Aby mieć pełne powodzenie w lotach trzeba przestrzegać lekkości wykonania modelu i starannie składać poszczególne jego części.

Oprócz makiet wyżej omówionych warto podać jeszcze dwie o przeznaczeniu zabawkowym produkowane w Polsce przez spółdzielnie pracy.



Rys. 65. Prymitywna zabawka w kształcie rakiety

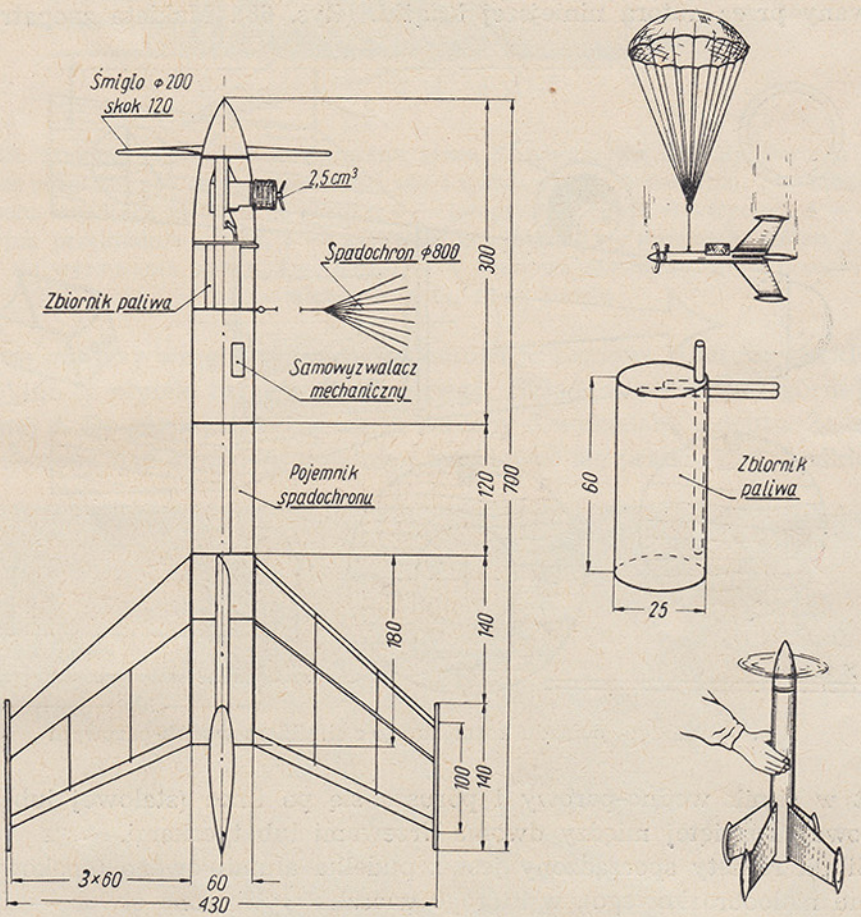


Rys. 66. Model rakiety klasy ziemia-powietrze

Pierwsza pokazana na rys. 65 jest po prostu „pukawką" wykonaną z tworzywa sztucznego. Poruszając szybko tłoczkiem umieszczonym w cylindrze spręża się powietrze, które wypycha małą, naparstkową głowicę. Długość całkowita rakiety 200 mm, średnica maks. 22 mm. Długość głowicy 32 mm, średnica maks. 19 mm.

Drugą zabawką jest nieco lepiej pomyślana rakieta typu ziemia-powietrze umieszczona na wyrzutni (rys. 66). Całość odlana z polistyrenu

barwnego. Na wyrzutni umieszczona jest sprężyna, która ściskana jest po włożeniu rakietki na prowadnice. Wyzwolenie — start następuje po naciśnięciu dźwigni spustowej. Sprężyna rozprężając się wypycha rakietę imitując prawdziwy odstrzał. Wysokość rakiety wraz z wyrzutnią 110 mm, wysokość wyrzutni 50 mm, a długość całkowita rakiety 85 mm przy średnicy 5 mm. Maksymalna wysokość „lotu" około 1,5 m, a „zasięg" — około 2 m.



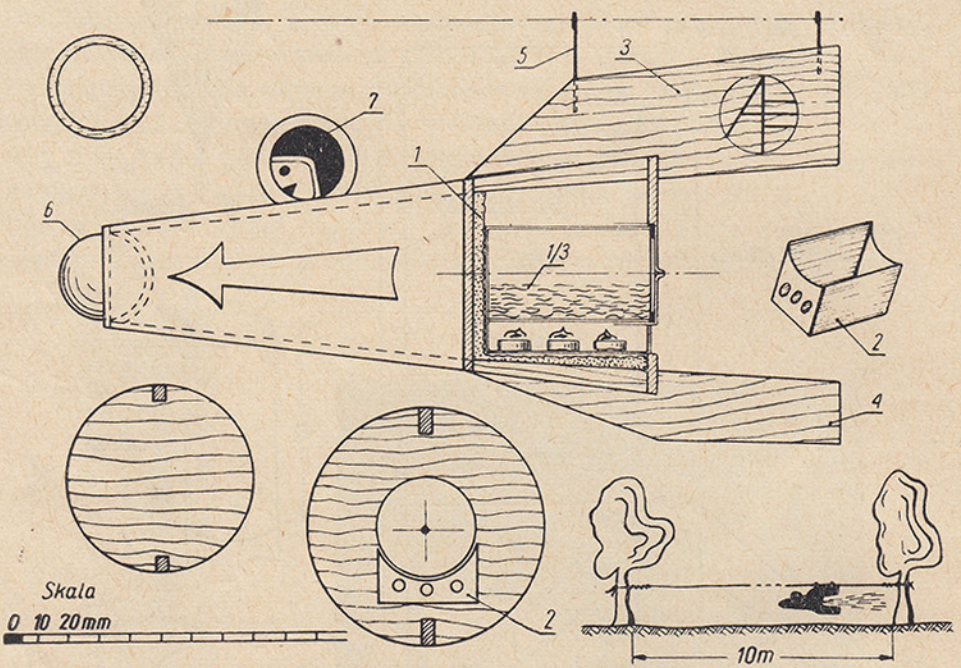
Rys. 67. Model stylizowanej rakiety z napędem mechanicznym

Bardziej zaawansowani w budowie modeli latających mogą pokusić się o zbudowanie makiety wyposażonej w napęd mechaniczny: zespół śmigłosilnikowy. Na rysunku 67 podano plan tego rodzaju modelu. Cechą charakterystyczną modelu są cztery stateczniki i konwencjonalnie zamocowany silnik. Ponieważ nikłe płaszczyzny nie zapewniają modelowi wytworzenia wystarczającej siły nośnej do lotu poziomego, makieta unosić się może wyłącznie w pozycji pionowej, opadając następnie po osiągnięciu

pułapu kilkudziesięciu metrów na spadochronie otwieranym za pomocą mechanicznego (fotograficznego) samowyzwalacza wbudowanego w kadłub modelu. Do napędu zastosowano silnik samozapłonowy o pojemności skokowej 2,5 cm^3.

Warunkiem powodzenia przy budowie takiej makiety jest zastosowanie jak najlżejszych materiałów, aby w pełni mogła być wykorzystana mikroskopijna moc silnika napędowego.

Do makiet zaliczyć jeszcze można oryginalny pojazd kosmiczny opracowany przez autora niniejszej książki. (Rys. 68). Makieta zaopatrzona

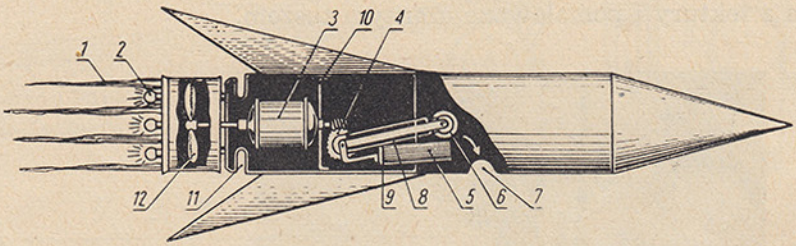


Rys. 68. Makieta pojazdu kosmicznego z silnikiem wodno-parowym

jest w silnik wodno-parowy i porusza się po lince (stalowej lub stylonowej) rozpiętej między dwoma drzewami lub tyczkami.

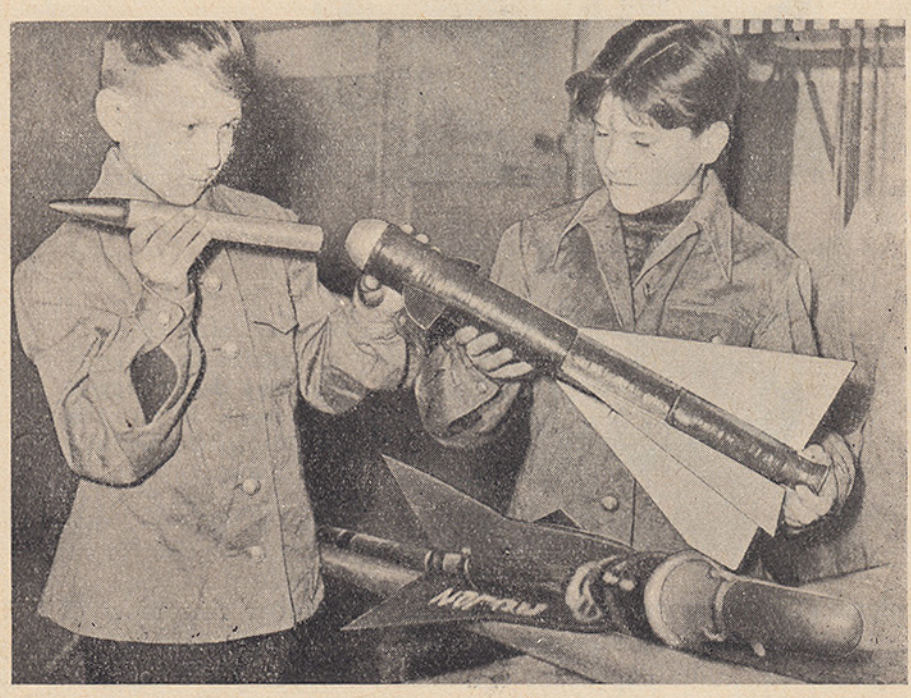
Silnik rakiety sporządzony jest z pudełka aluminiowego (opakowanie filmu małoobrazkowego), w którego wieczku wytłoczono otwór — dyszę wylotową o średnicy ostrza igły gramofonowej. Igłą taką najwygodniej bowiem wytłoczyć pożądany otwór. Pudełko uszczelnione jest podkładką gumową i mieści w swym wnętrzu wodę w jednej trzeciej objętości. Pudełko-silnik ustawione jest na blaszanym (np. ze starej puszki od konserw) palenisku. Paliwem jest spirytus w postaci stałej, jako tak zwane paliwo turystyczne stosowane w kocherach. Trzy tabletki wystarczają do szybkiego zagotowania wody w zbiorniku. Po kilku minutach ciśnienie pary wzrasta do tego stopnia, że uchodzi ona przez dyszę dając odpowiedni ciąg naszej rakiecie.

Wartość ciągu zależy od średnicy dyszy, co łatwo sprawdzić doświadczalnie. Silnik otulony jest odcinkiem azbestu *1* chroniącym rakietę przed spaleniem. Palenisko *2* wycięte jest z blachy i nie lutowane. Sama rakieta zbudowana może być ze sklejki lub tektury, z pokryciem kartonowym.



Rys. 69. Makieta rakiety skonstruowana przez S. Abramowa (ZSRR). Porusza się na lince rozpiętej pod sklepieniem dużej sali i zrzuca ulotki. Oznaczenia: *1* — bibułka czerwona imitująca płomień od silnika, *2* — lampy, *3* — silnik elektryczny, *4* — redukcyjna przekładnia zębata, *5* — zasobnik do ulotek, *6* — drewniane kółko, *7* — otwór do wyrzucania ulotek, *8* — napęd, *9* — obudowa zasobnika, *10* — przegroda, *11* — wlot powietrza, *12* — śmigło

Kadłub ma trzy wręgi i tylko dwie podłużnice sosnowe. Usterzenie sklejkowe lub z płytek tworzywa sztucznego. Składa się z części górnej *3* i dolnej *4*. Do górnej umocowane są zaczepy *5* wykonane z drutu. Zaczep umieszczony nad silnikiem powinien znajdować się prawie nad środkiem

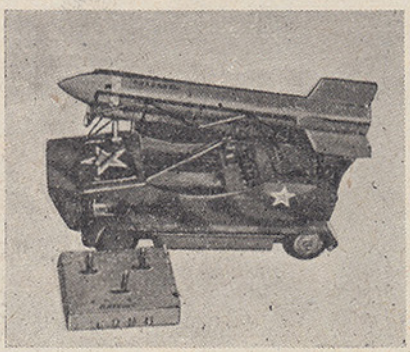


Rys. 70. Makiety rakiety dwustopniowej z silnikiem odrzutowym-pulsacyjnym

ciężkości, co ułatwia ruch modelu po lince. Aby uzyskać stały naciąg linki, poleca się do jednego końca przywiązać odcinek sprężyny. W przednią część kadłuba wstawiona jest mała piłeczka gumowa 6, która spełnia rolę amortyzatora-zderzaka.

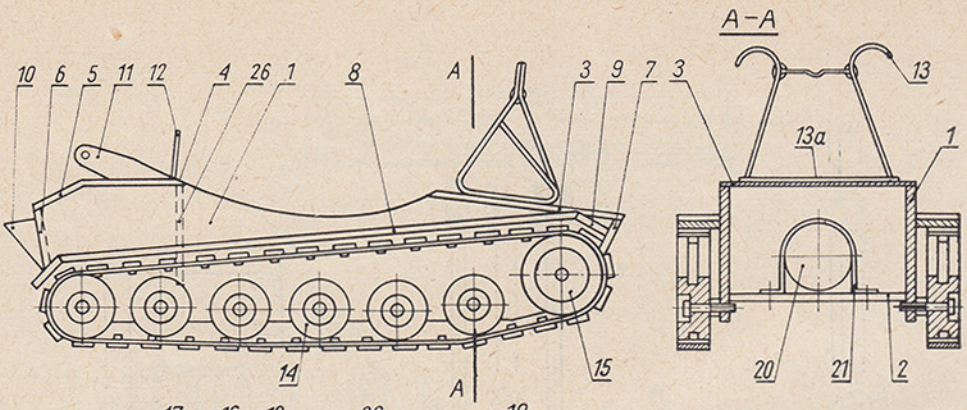
Uzupełnieniem dekoracyjnym rakiety jest stylizowana głowa pilota 7 wycięta z tektury i pomalowana czarnym tuszem.

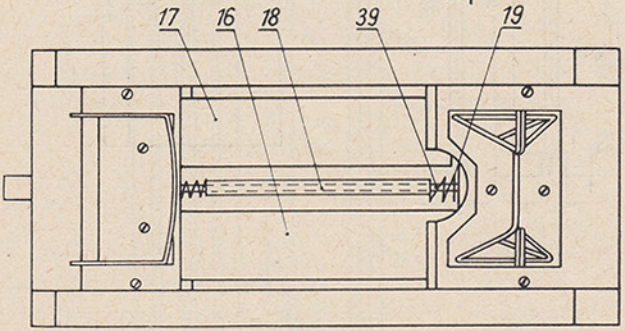
Rys. 71. Ustawianie rakiety na wyrzutni



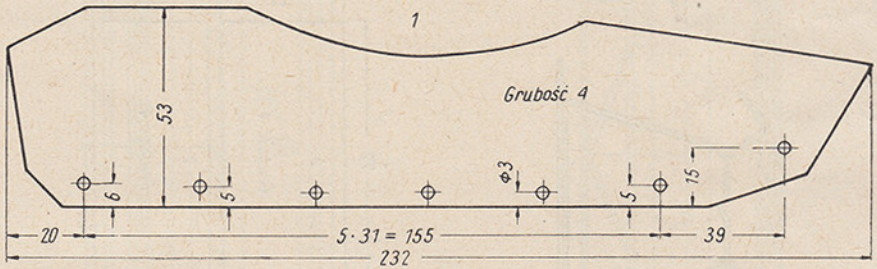
Rys. 72. Model radzieckiej rakiety na samobieżnej wyrzutni. Model był demonstrowany na wystawie w muzeum NOT w Warszawie w 1961 roku

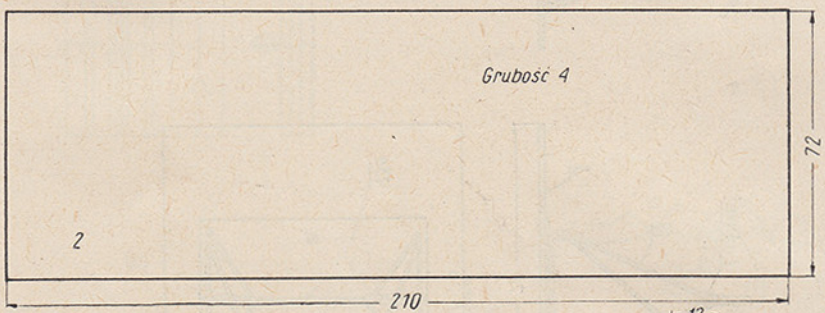
Interesującą makietę rakiety wykonał Aleksander Abramow (ZSRR) rys. 69. Jest to również pojazd poruszający się po lince, zaopatrzony jest jednak w śmigło napędzane silnikiem elektrycznym i urządzenie do zrzucania ulotek.

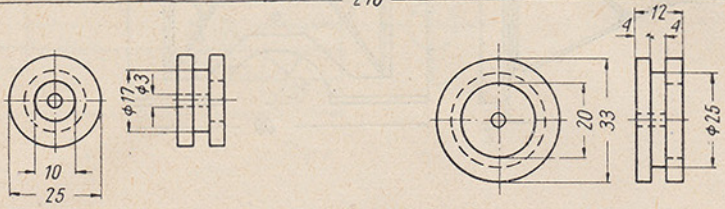




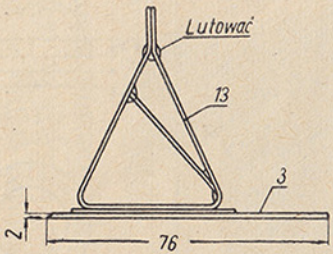
Rys. 73. Pojazd do rakiety (rysunek zestawieniowy)

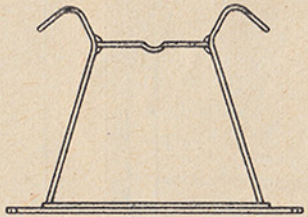


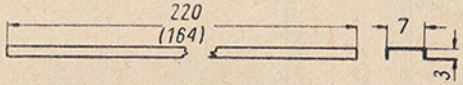


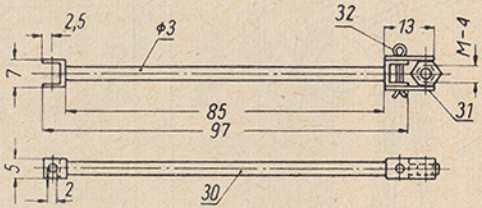


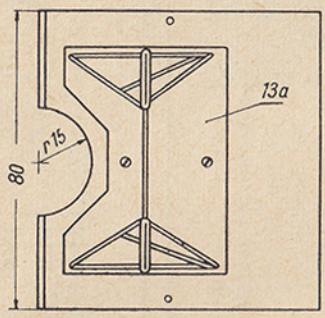
Rys. 74a

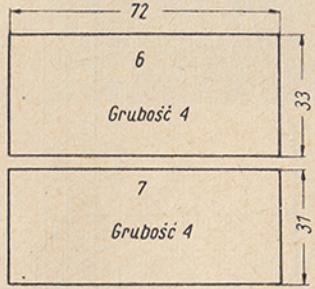

Lutować
13
3
2
76

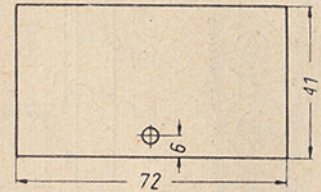


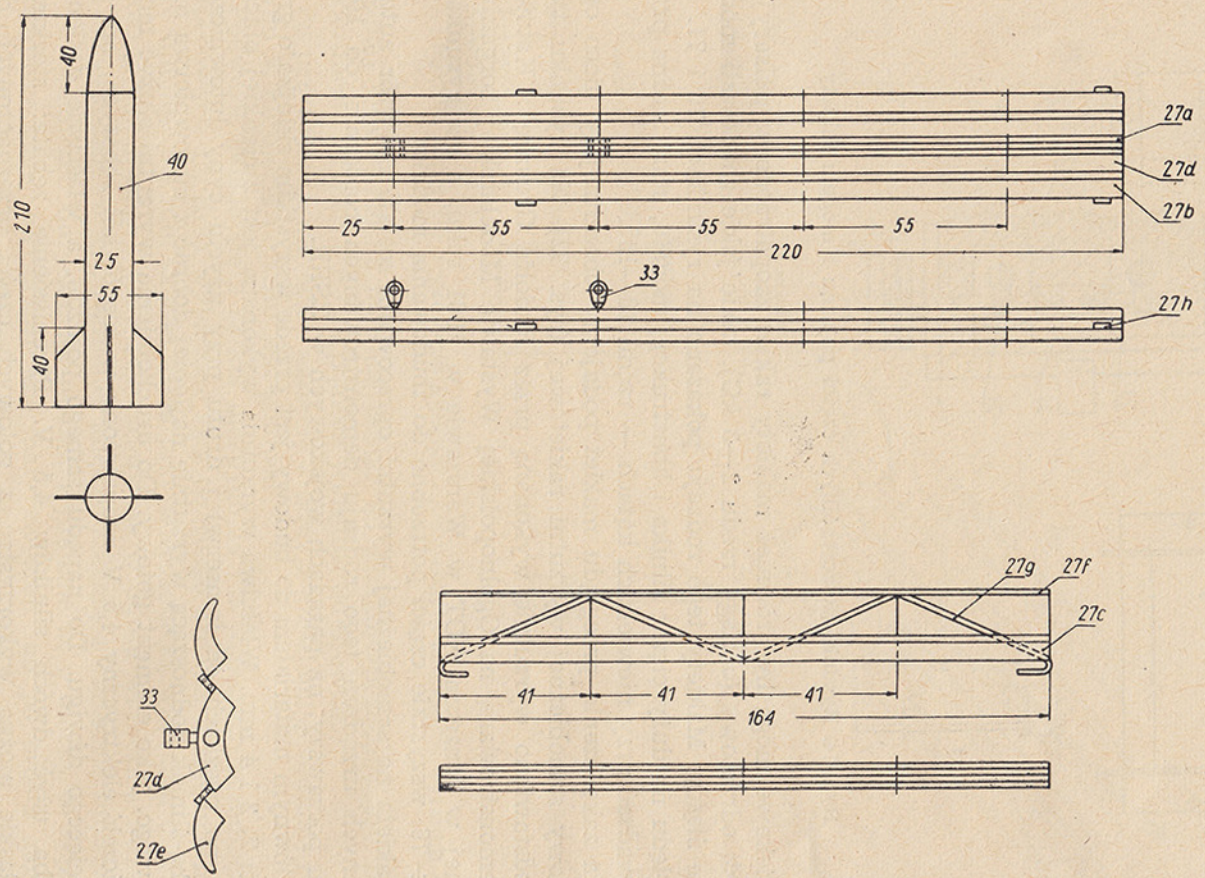

220
(164)
7
3


2,5
ϕ3
32
13
M1-4
7
85
97
31
5
2
30

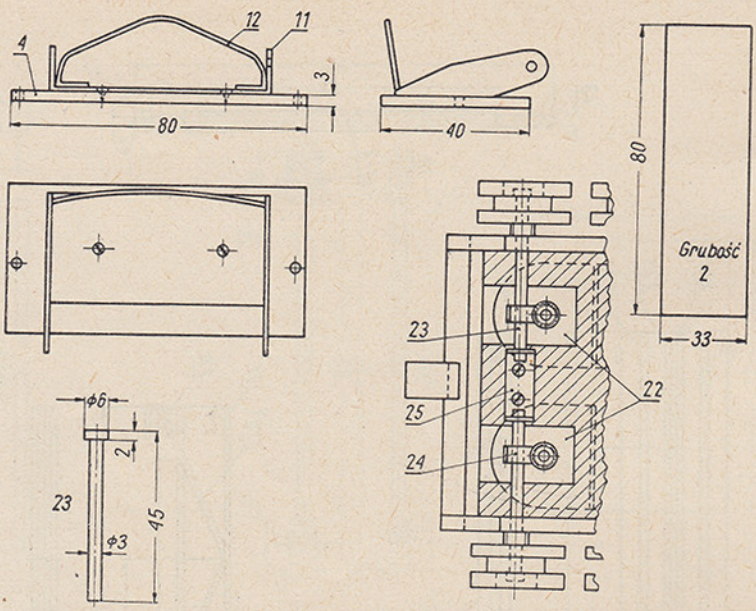

13a
r15
80


72
6
Grubość 4
33
7
Grubość 4
31


41
6
72


40
210
40
25
55
40
27a
27d
27b
25
55
55
55
220
33
27h
27g
27f
27c
41
41
41
164
33
27d
27e
φ3
18
M-4
85
114
9
φ2
4

Rys. 74b



Rys. 74. Rysunki poszczególnych części pojazdu i modelu rakiety

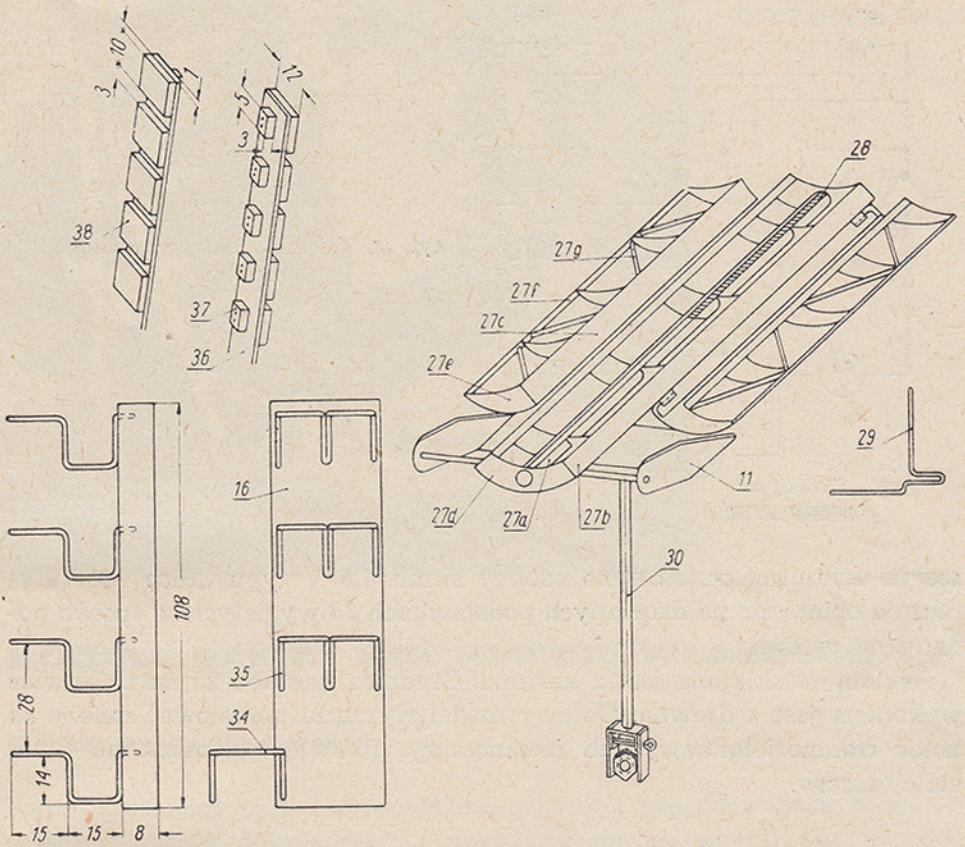
Ciekawe mogą być również makiety rakiet zaopatrzone w pulsacyjny silnik odrzutowy (o ciągu rzędu 2—3 kG), takie jakie zbudowali modelarze śląscy. Makiety tego rodzaju pokazano na rysunkach 70 i 71. Ze względu na duży ciężar silnika i konstrukcję modelu, start można przeprowadzać przy niewielkich kątach — rzędu 10—15°.

Na zakończenie przeglądu makiet podajemy obszerniejszy nieco opis budowy samobieżnej wyrzutni rakietowej (rys. 72). Na rysunku tym przedstawiono wyrzutnię wykonaną przez Rudolfa Gruszkę z Katowic i demonstrowaną na Ogólnopolskiej Wystawie Modelarskiej zorganizowanej w Muzeum NOT w Warszawie w 1961 roku, a na rysunkach 73 ÷ 76, wszystkie części potrzebne do zbudowania modelu.

Rakieta na samobieżnej wyrzutni opracowana została na wzór autentycznych urządzeń tego rodzaju demonstrowanych corocznie, od 1958 roku począwszy, na paradach wojskowych w ZSRR.

Głównym materiałem do budowy jest przede wszystkim sklejka o grubości 2, 3 i 4 mm. Właściwa wyrzutnia wykonana jest z cienkiej blachy (np. po puszkach od konserw) i drutu przy użyciu cyny lutowniczej. Śrubę-ślimak podnoszącą wyrzutnię najlepiej dobrać z budownictwa metalowego, jako element gotowy. Do uruchomienia wyrzutni służyć może silniczek elektryczny 4,5 V zaopatrzony w zespół kół zębatych, np. od dziecięcego dźwigu. Do napędu samego pojazdu, a właściwie gąsienic, trzeba użyć dwóch silników 4,5 V. Przeniesienia zębate: stożkowe i płaskie można wykorzystać z gotowych części przeznaczonych dla modeli samochodów lub kolei.

Budowę rozpoczynamy od pudła pojazdu. Ścianki boczne *1* po wycięciu ze sklejki i nawierceniu otworów sklejone są z podłogą *2*. Z kolei wklejamy przednie *7* i tylne 6 ścianki, a także ściankę ogniową *26*. Aby



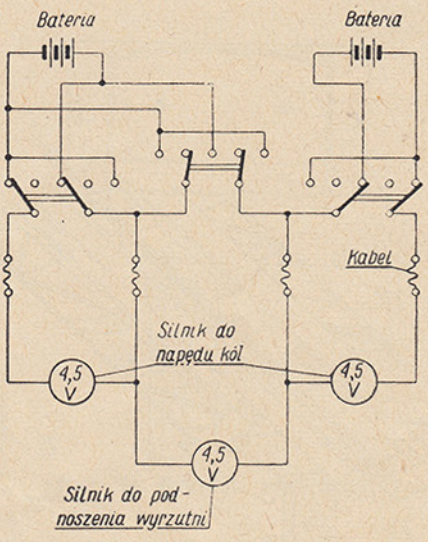
Rys. 75. Szczegóły wykonania gąsienic i konstrukcja prowadnic wyrzutni

później łatwiej można było się dostać do silników pożądane jest przytwierdzenie ścianek *3* i *4* za pomocą wkrętów do drewna.

Po przytwierdzeniu osłon gąsienic *8* wraz z częściami przednimi i tylnymi *9*, karoseria pojazdu jest gotowa.

Podwozie składa się z 12 kół bieżnych *14* i 2 większych przednich — napędowych *15*. Koła wytoczone są z twardego drewna, względnie mogą być sklejone z 4 mm sklejki. Koła przytwierdzone są wkrętami ϕ 3 mm z okrągłymi łbami. Należy zwrócić uwagę w czasie wkręcania wkrętów na niewspółosiowe ich położenie. Między kołami, a karoserią umieszczone są podkładki. Łożyska dla osi kół wykonane są z blachy mosiężnej. Zabezpieczeniem kół na osi jest mały sworzeń lub po prostu zagięta szpilka. Gąsienice wycięte są z pasma gumy od zużytej dętki rowerowej i sklejone tak, aby ściśle przylegały do kół.

Do napędu pojazdu zastosowano dwa niezależnie pracujące silniki 4,5 V (22) przytwierdzone do metalowego kątownika (25 × 12 mm). Do wału silników dolutowane są koła zębate ślimakowe *24*. Do podnoszenia wyrzutni zastosowano osobny silnik 4,5 V typu „Pico" *20*. Wyrzutnia opiera się na drucianych podstawkach *13* wygiętych w sposób podany na rysunku.



Rys. 76. Schemat elektryczny napędu modelu

Rakieta *40* sklejona jest z kartonu. Średnica kadłuba 25 mm. Głowica wykonana jest z drewna. Gotowy model wyrzutni pomalować należy na kolor ciemnozielonkawy lub ciemnoszary. Rakietę natomiast na kolor stalowoszary.

ROZDZIAŁ III

MODELE RAKIET BEZ NAPĘDU WŁASNEGO

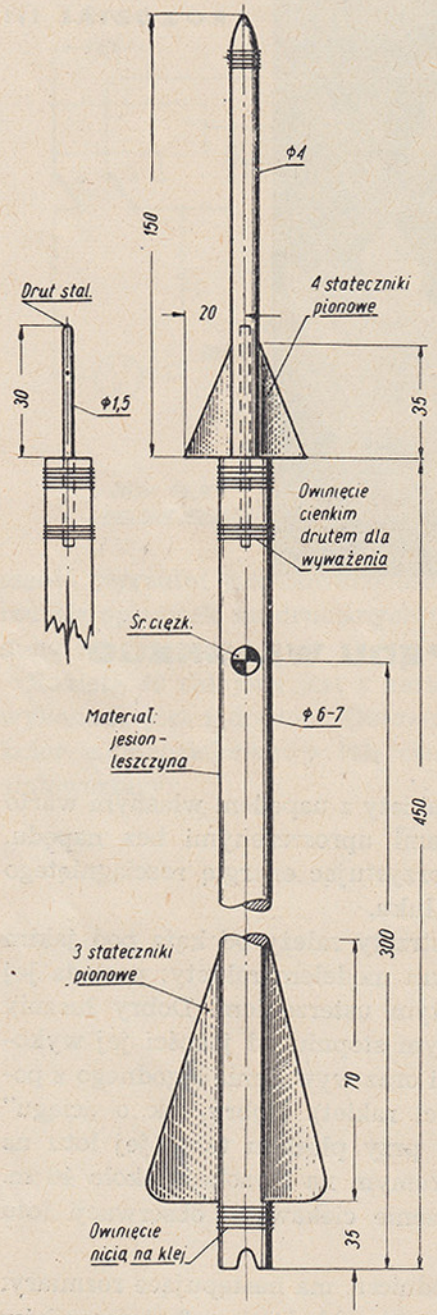
1. Podstawowe wiadomości

Zanim zaczniemy budować prawdziwe rakiety z napędem własnym warto wykonać szereg doświadczeń z modelami uproszczonymi bez napędu. Modele nasze wyrzucać będziemy wykorzystując energię rozciągniętego pasma gumy np. procy, lub też cięciwy łuku.

Kto strzelał z łuku wie, że tor lotu strzały zależy od kąta pod jakim ona jest ustawiona. Strzała jest idealnym modelem rakiety; posiada jej zasadnicze elementy, łącznie z pierzastym usterzeniem. Dobry łucznik wie, że donośność strzału zależy w dużym stopniu od jakości jej wykonania, a nawet gładkości jej powierzchni oraz wyważenia (zgodnego z podanymi uprzednio zasadami stateczności rakiet). Dobry łuk o „ciągu" około 18 kG pozwala wyrzucić strzałę przy płaskim torze jej lotu na odległość około 100 m, a przy torze stromym na wysokość około 40 m. Taka wysokość umożliwia przeprowadzenie ciekawych obserwacji lotu strzały.

Normalna strzała amatorska, nie zawodnicza, ma następujące rozmiary: długość 500 mm i średnicę 6 mm. Usterzenie składa się z 3 stateczników pierzastych.

Obserwacje będą dlatego ciekawe, gdyż normalnie z łuku strzela się przecież do celu — tarczy i tor lotu strzały jest prawie płaski. Strzałę, która w naszych doświadczeniach imituje małą rakietę możemy połączyć z drugą rakietą tworząc system dwustopniowy. Łatwiej będzie wówczas prześledzić mechanikę rozdzielania się modeli i tory ich lotu.



Rys. 77. Najprostsza rakieta dwustopniowa w postaci strzały

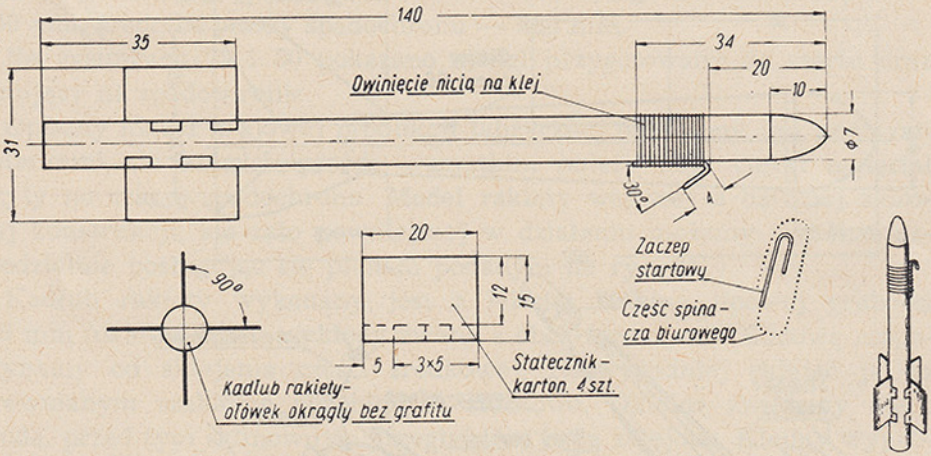
Na strzałę samodzielnie sporządzoną nasadzamy zatem mały model rakiety o kształtach i rozmiarach podanych na rys. 77.

Rakieta (II stopień) wykonana jest z drewna, kartonu i korka, a to dla uzyskania możliwie małego ciężaru. Ten drugi stopień nakłada się na strzałę. Po wyrzuceniu strzały z łuku pod kątem od 45 do 80° zatacza ona łuk (a mówiąc bardziej poprawnie jej środek ciężkości opisze parabolę) i w pewnym jego punkcie szczytowym nastąpi oddzielenie się II stopnia.

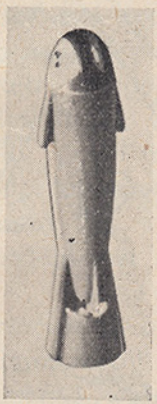
A oto jeszcze jeden prosty model (rys. 78), tym razem startujący z małej procy. Materiały: ołówek bez grafitu i kawałek kartonu na usterzenie (projekt — Andrzeja Mroczka).

Inny rodzaj modelu jest podany na rysunkach 79 i 80. Jest to fabrycznie sporządzony model startujący z wyrzutni gumowej (procy). Kadłub odlany z tworzywa sztucznego składa się z dwóch połówek wewnątrz wydrążonych. Przegubowe połączenie znajduje się w głowicy, gdzie również umieszczono sprężynkę odchylającą obie połówki skorupy rakiety. Do rakiety na 8 nitkach przytwierdzony jest spadochron z czaszą o obrysie kołowym wykonaną z folii plastykowej. Z boku kadłuba rakiety umieszczone są zaczepy startowe, o które zaczepia się gumę procy przy starcie. Przed startem spadochron zwija się wraz z linkami i wkłada do rozwartych połówek modelu i obie połówki zaciska się palcami.

Teraz wyrzuca się rakietę z procy, silnie naciągając przed tym gumę. Model szybko wznosi się do góry na wysokość około 20 m i gdy prędkość lotu nieco zmniejszy się, następuje rozchylenie połówek kadłuba,



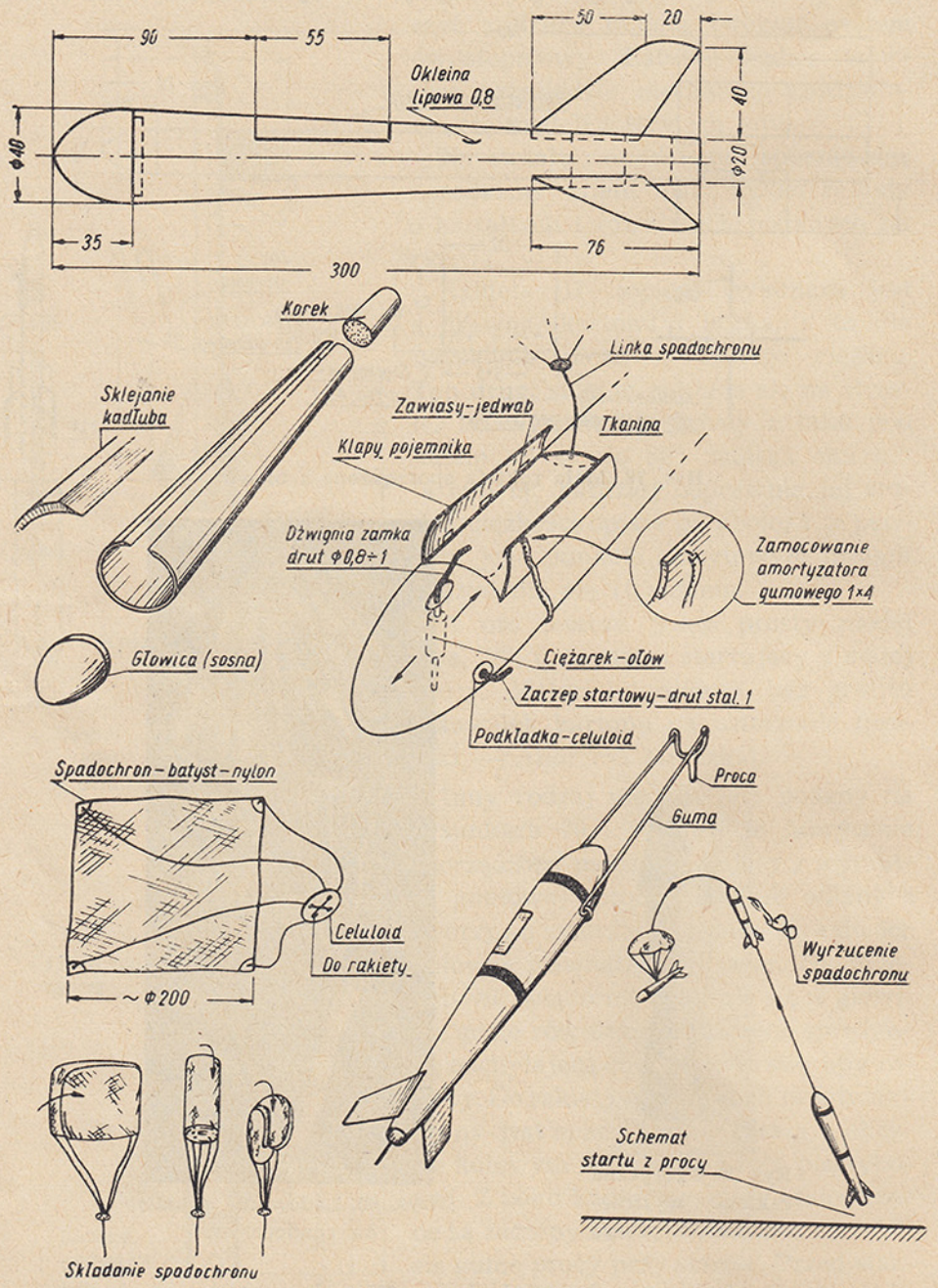
Rys. 78. Mała rakieta sporządzona z ołówka



Rys. 79. Fabryczna rakieta wystrzeliwana z procy

Rys. 80. Lądowanie rakiety na spadochronie

z którego wnętrza wypada spadochron. Wypełnia się on z charakterystycznym trzaskiem powietrzem opuszczając swój ładunek powoli ku ziemi. Ten rodzaj startu jest dość podobny do stosowanych w dużym



Rys. 81. Rakieta własnej budowy startująca z wyrzutni gumowej

rakietnictwie. Głowice, a także niektóre rakiety badawcze po wykonaniu zadania wracają na ziemię za pomocą spadochronu.

A oto zasadnicze rozmiary omawianego modelu. Długość całkowita — 155 mm, maksymalna średnica — 250 mm. Długość linek nośnych — 160 mm, średnica czaszy spadochronu — 360 mm.

Na rysunkach 79 i 80 pokazano model przygotowany do startu oraz lądujący na spadochronie.

Opisany model krajowej produkcji fabrycznej obarczony jest pewnymi usterkami, do których przede wszystkim należy zbyt ciężki materiał użyty na czaszę spadochronu. Model rakiety większej o bardziej złożonej konstrukcji, ale zato pewniejszej w działaniu możemy wykonać samodzielnie posługując się planem podanym na rys. 81.

Kadłub rakiety wykonany jest z lekkiej okleiny lipowej grubości 0,8 mm (okleina bywa niekiedy zwana z obca fornierem). Budowę rozpoczynamy od sklejenia części środkowej. Najwygodniej skleiać ją na drewnianym szablonie obrobionym stożkowo. Okleinę zwilżamy nieco wodą, przed tym sklinowując brzegi, które będą sklejone. Kleimy wypróbowanym klejem kazeinowym na zimno, owijając całość nicią, a jeszcze lepiej odcinkiem płaskiej gumy; owijkę pozostawiamy aż do całkowitego wyschnięcia kleju.

Sklejoną rurę zdejmujemy z szablonu wycinając teraz w niej ostrym nożem klapy pojemnika. Klapy przyklejone są paskami jedwabiu imitującymi doskonale zawiasy. Od razu też wyklejamy wnętrze pojemnika kawałkiem jedwabiu w ten sposób, że jeden brzeg materiału przyklejony jest do boku klapy. Przy jednoczesnym otwarciu obu klap tkanina tworząca jakby dno pojemnika wyprostowuje się wyrzucając w ten sposób umieszczony tam spadochron.

Oprócz klap należy sporządzić jeszcze zamek. Składa się on z dźwigni drucianej zagiętej w sposób podany na rysunku i obciążonej w środku ciężarkiem ołowianym. Ciężar jego należy tak dobrać, aby z chwilą gdy pochylamy przód modelu następowało przesunięcie się dźwigni i otwarcie klap ściąganych opasującym kadłub amortyzatorem gumowym (1 × 4 mm).

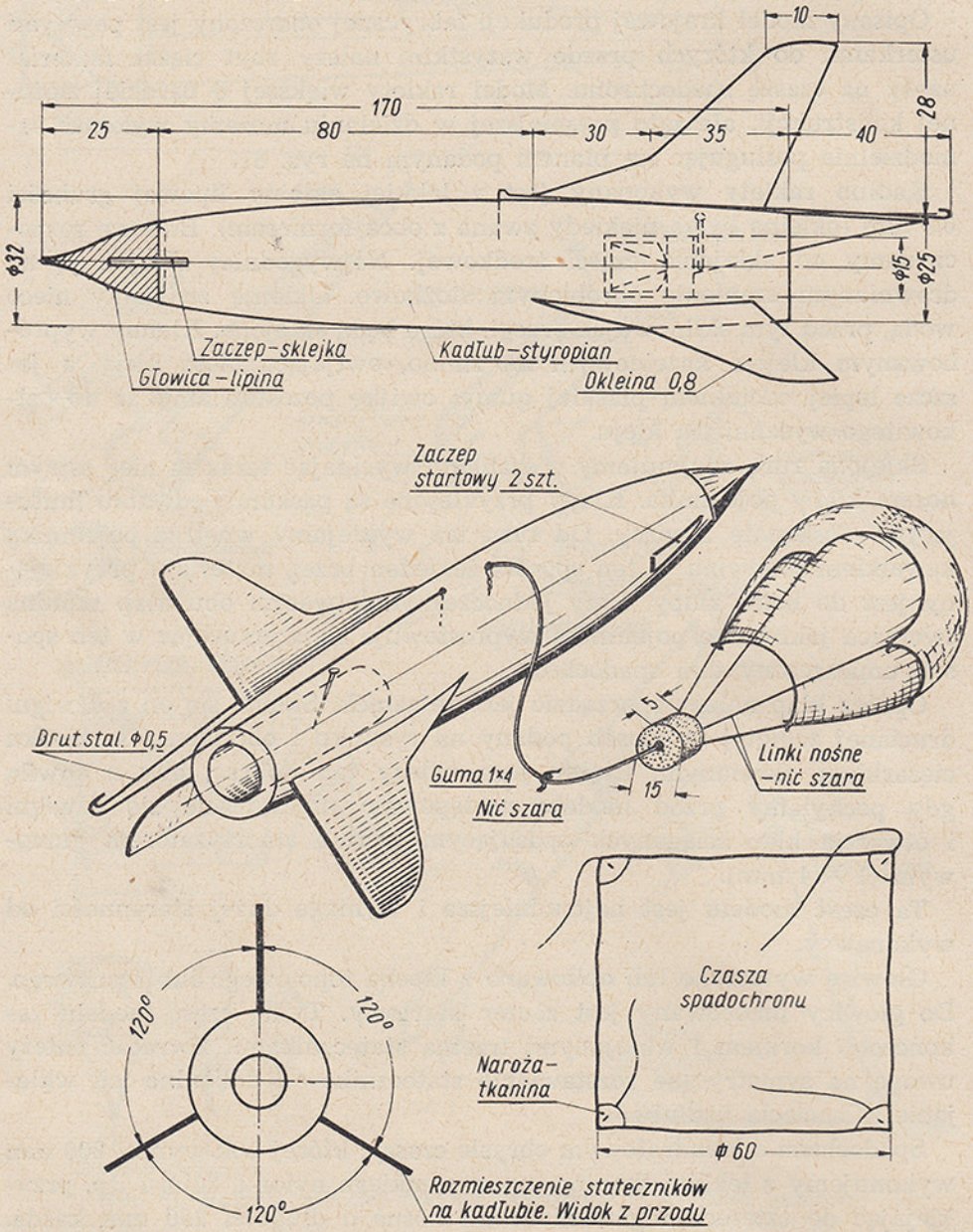
Ta część modelu jest najtrudniejsza i wymaga dużej staranności od wykonawcy.

Głowicę wytoczono lub opiłowano z klocka topolowego lub sosnowego. Do głowicy umocowany jest zaczep startowy. Tylną część modelu zakończono korkiem i wklejonymi trzema statecznikami. Zwracać należy uwagę na symetryczne rozstawienie stateczników i dokładne ich wklejanie w nacięcia kadłuba.

Spadochron o kwadratowym obrysie czaszy, której bok wynosi 200 mm wykonujemy z lekkiej tkaniny, np. z cienkiego nylonu, fularu itp. przyklejając do czterech rogów nici-linki nośne o długości 250 mm każda. Końce linek skupione są w jednym punkcie — węźle, który tworzy mały

guzik lub krążek celuloidowy. Z krążka wychodzi jedna już linka, którą przytwierdzamy silnie do kadłuba tuż pod otworem pojemnika. Czaszę spadochronu zwijamy luźno w sposób pokazany na rys. 81, owijając ją również luźno linkami i wkładamy do pojemnika zasuwając dźwignię zamka i zaczepiając potem na haczyki amortyzator gumowy.

Model przygotowany jest do startu. Wystarczy obecnie zaczepić pasmo gumy procy o zaczepy startowe i wystrzelić rakietę w powietrze. Po



Rys. 82. Rakieta ze styropianu, również przeznaczona do startu z wyrzutni gumowej

osiągnięciu pewnej wysokości, gdy tylko pod wpływem obrotu wokół środka ciężkości rakieta pochyli głowicę, zamek zwolni klapy pojemnika i spadochron rozpocznie wypełniać się powietrzem umożliwiając rakiecie powrót na ziemię z małą prędkością opadania.

Aby lądowanie na spadochronie i cały proces otwarcia następował sprawnie, trzeba przeprowadzić kilka prób naziemnych regulując działanie zamka, naciągu amortyzatora i otwierania się klap.

Opisany model jest bardzo stateczny w locie i łatwo osiąga wysokość 20—30 metrów startując z normalnej procy gumowej.

Podobny w zasadzie, ale inny pod względem konstrukcji, jest model uwidoczniony na rys. 82.

Do budowy tego ciekawego modelu zastosowano sztuczne tworzywo piankowe zwane u nas „styropianem". Z materiału tego wykonany jest tylko dość pękaty kadłub. Natomiast głowicę wytoczono z drewna lipowego, a usterzenie z okleiny lipowej grubości 0,8 mm. Obróbka styropianu nie różni się od obróbki drewna, lecz trwa krócej. W tylnej części kadłuba wycięty jest otwór, w którym będzie umieszczony spadochron wraz z automatem wyciągającym czaszę.

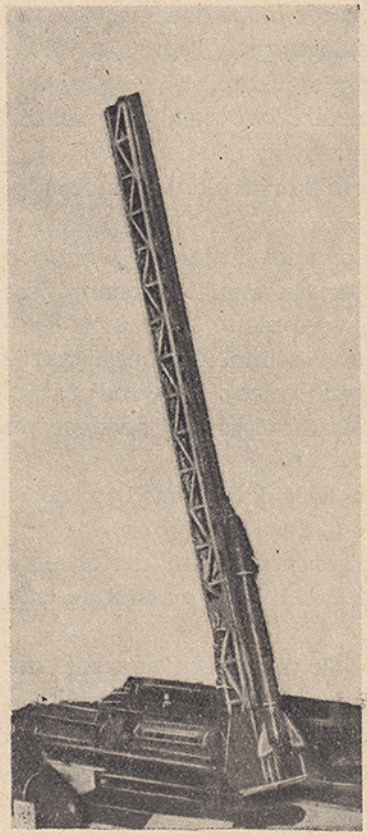
Do klejenia styropianu najlepiej stosować klej kazeinowy, a także tzw. stolarski. W przodzie modelu wklejone są dwa sklejkowe zaczepy startowe (patrz rys. 82). Gotowy kadłub oklejamy cienkim materiałem lub paskiem papieru (sam styropian jest zbyt kruchy) wzmacniając całą konstrukcję.

Spadochron również o czaszy kwadratowej, jak w modelu poprzednim, ma umocowane linki do krążka styropianu, który jak tłok powinien tkwić z niewielkim luzem w tylnym otworze pojemnika. Mechanizm działania automatu jest następujący: po ułożeniu czaszy w otworze zostaje on zamknięty krążkiem-tłokiem. Do krążka zaczepiony jest amortyzator gumowy przebiegający tak jak to podano na rys. 82.

Przed startem krążek zabezpieczony jest szpilką, którą w momencie startu wyciągamy. Amortyzator zaczyna działać na tłok, który powoli wysuwa się z otworu ciągnąc za sobą czaszę spadochronu. Proces ten trwa kilka sekund, podczas których model nasz zdąży osiągnąć pewną wysokość — spadochron potem wyskakuje z pojemnika i rozpoczyna się lądowanie rakiety. Sztuka polega na takim zsynchronizowaniu działania automatu-samowyzwalacza, aby spadochron otwierał się w momencie gdy rakieta załamuje tor lotu po osiągnięciu maksymalnej wysokości. Regulacja automatu polega na dobraniu odpowiedniego naciągu amortyzatora i ściśliwości przylegania tłoka do ścianek pojemnika. Kilka prób dokonanych przed startem umożliwi właściwą regulację. Gdy tłok się zużyje można go wymienić lub też okleić paskiem papieru powiększając w ten sposób średnicę.

Oprócz wyrzutni gumowych w postaci procy można budować wyrzutnie stałe, bardziej przypominające swym wyglądem prawdziwe (rys. 83).

Schemat takiej prymitywnej wyrzutni pokazano na rys. 84. Składa się ona z beleczki o przekroju 20×20 mm i długości około 600 mm (dla rakiety o długości całkowitej około 250 mm). W górnej części wyrzutni zamocowane są haczyki utrzymujące napiętą gumę. Beleczka ustawiona pod kątem około 80° spoczywa na drewnianej podstawce zakotwiczonej w ziemi. W dolnej części modelu rakiety wkręcony jest haczyk. Identyczne haczyki umieszczono w pobliżu głowicy oraz w podstawce drewnianej. Warto podać, że podstawka nasza nosi nazwę stołu startowego w urządzeniach dużych.



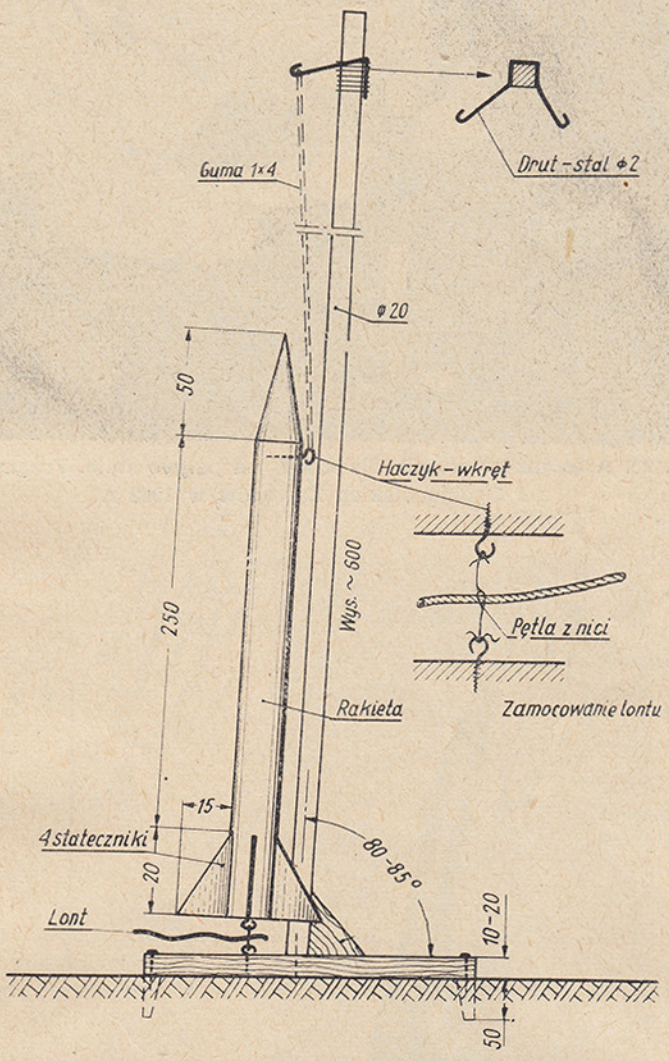
Rys. 83. Kratownicowa drewniana wyrzutnia gumowa

A oto przebieg startu. Model związany jest mocną, szarą nicią łączącą dwa haczyki: dolny na rakiecie i na podstawce. Nić jest tak związana, że obejmuje przy tym lont bawełniany (białe sznurowadło od obuwia sportowego — najlepsze) o długości kilku centymetrów. O górny w głowicy haczyk zaczepione jest pasmo gumy o przekroju 1 × 4 mm silnie przywiązane dwoma końcami do zaczepów umieszczonych na belce wyrzutni. Start odbywać się może z większym nieco ceremoniałem niż uprzednio. Po zapaleniu lontu zaczyna on się powoli tlić aż w końcu przepala nić wiążącą rakietę z podstawką. Obecnie model pod wpływem naciągniętej gumy startuje sam unosząc się na wysokość zależną w pewnym stopniu od naciągu gumy.

Opisany proces startu jest zapowiedzią następnych, bardziej zaawansowanych metod. Umożliwia on śledzenie toru lotu modelu, wymagając już zachowania pewnych niezbędnych środków ostrożności. Wiadomo, że i kamień wyrzucony z procy może stać się przyczyną wypadku. Zastąpić go może również model rakiety. Stąd też przy starcie trzeba dokładnie ustalić miejsce, zdala od łatwo tłukących się szyb, zdala od zabudowań i materiałów łatwo palnych. Model bowiem nie jest sterowany w locie i często upadnie w miejscu nie przewidzianym. Liczyć się również trzeba, że tlący odcinek lontu może nie zostać na podstawce, a polecieć z rakietą. Stąd też praktyczna rada: długość lontu powinna być ustalona przed startem, aby wiadomo było konkretnie z jaką szybkością się spala (przeciętnie około 5—10 mm na sek).

Przed zapaleniem lontu ostrzec należy przygodnych widzów, aby oddalili się na bezpieczną odległość (poza wypróbowany zasięg zbudowanego

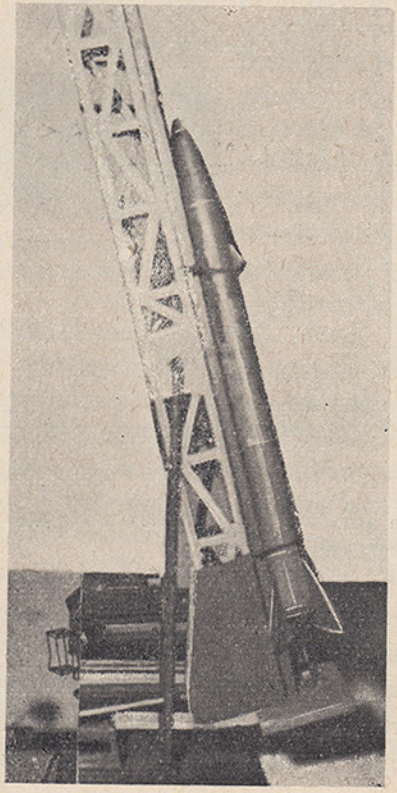
modelu) i dopiero potem przystąpić do czynności startowych. Długość lontu powinna być tak dobrana, aby tlił się około 15 sekund. Czas ten wystarcza w zupełności na oddalenie się od stanowiska startowego na odległość kilku metrów w celu dokonania obserwacji.



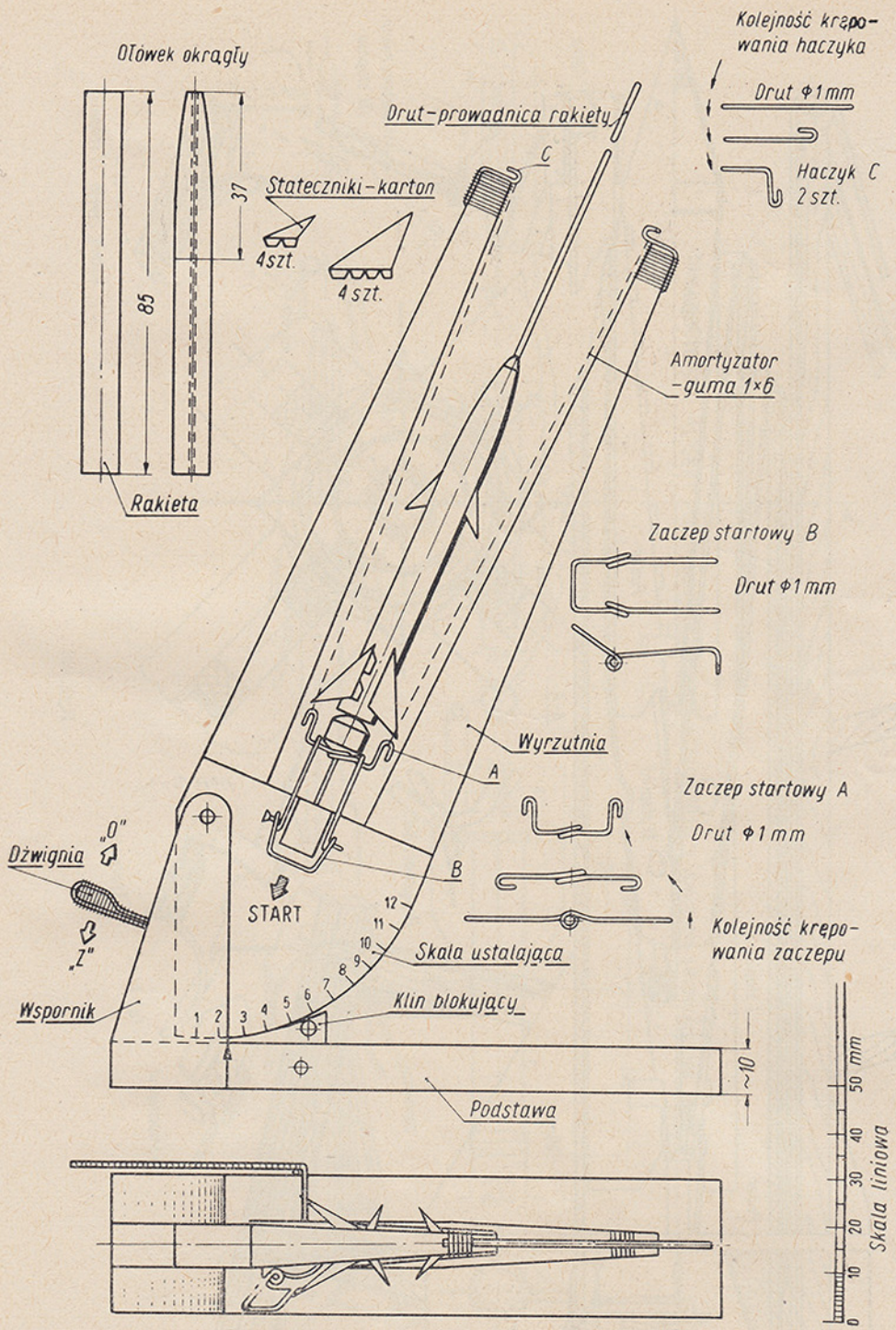
Rys. 84. Stała wyrzutnia gumowa. Start rakiety następuje po przepaleniu się lontu

Model rakiety startujący z opisanego typu wyrzutni pokazano na rys. 85 i 86. Była to praca uczestników ogólnopolskiej wystawy modelarskiej w 1961 r. zorganizowanej w Muzeum NOT w Warszawie. Niektóre wyrzutnie tu podane są rozwiązane jako nastawne, a ich prowadnice sklejone z listew drewnianych w postaci sztywnych kratownic.

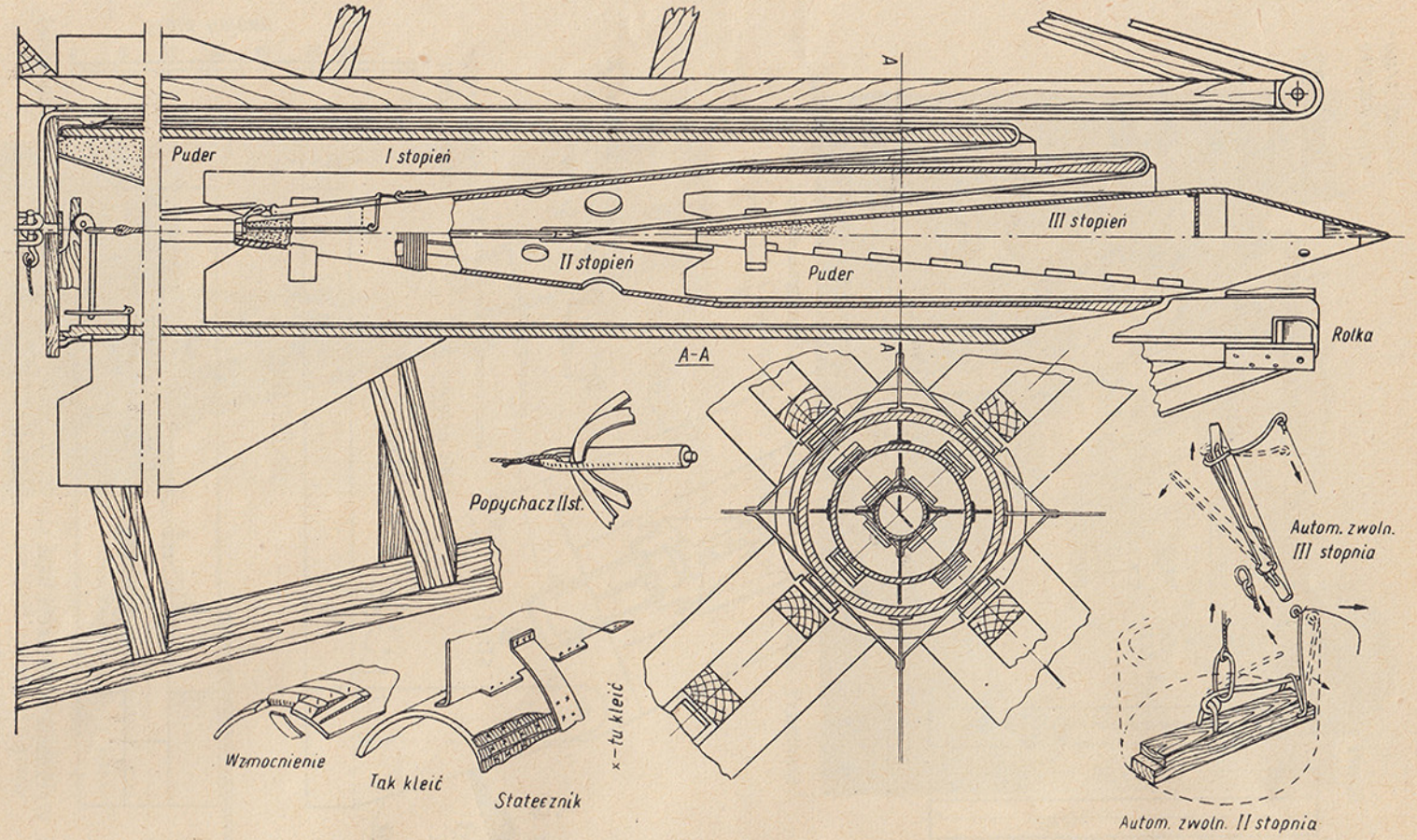
Rys. 85. A to już wyrzutnia dla rakiet na paliwo stałe. Fragment z I Ogólnopolskich Zawodów w 1962 r.



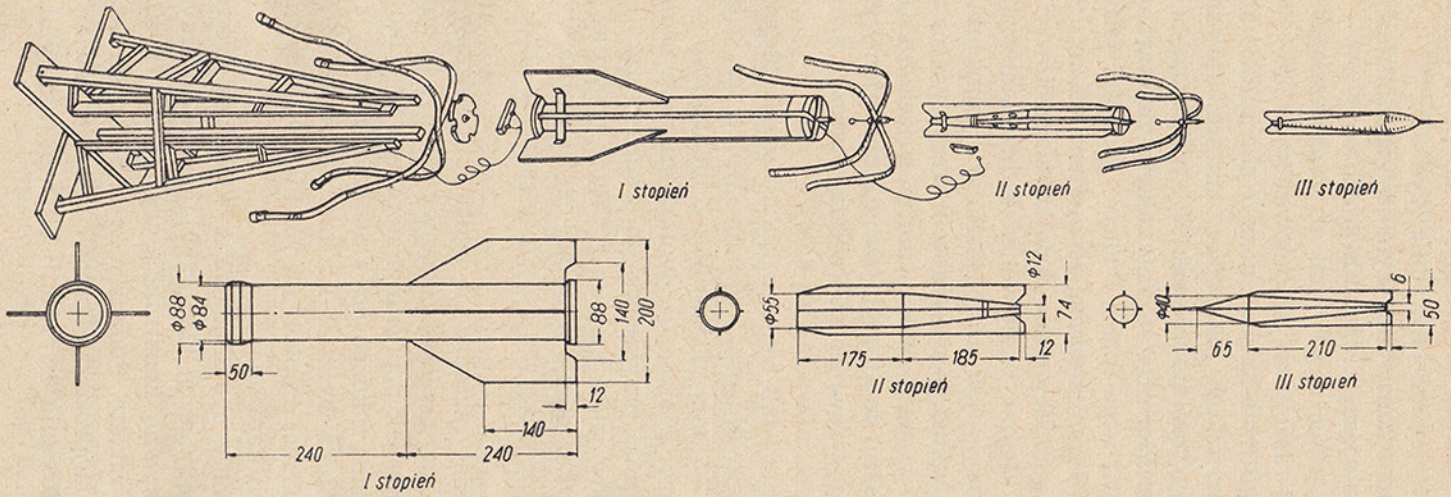
Rys. 86. Wyrzutnia gumowa z regulacją ustawienia prowadnic. Na kadłubie rakiety widoczny jest zaczep do gumy naciągowej



Rys. 87. Wyrzutnia z regulacją kąta startu, dla małej rakiety drewnianej sporządzonej z ołówka


Puder
I stopień
II stopień
III stopień
Puder
A
A
A-A
Rolka
Popychacz IIst.
Autom. zwoln.
III stopnia
Wzmocnienie
Tak kleić
Stateeznik
x – tu kleić
Autom. zwoln. II stopnia

Rys. 88



Rys. 88. Schemat budowy i działania wyrzutni gumowej dla rakiety trzystopniowej

Do oryginalnych bardzo konstrukcji należy wyrzutnia A. Mroczka z regulowanym nachyleniem prowadnic (rys. 87).

Ciekawym zadaniem konstrukcyjnym jest zbudowanie modelu rakiety wielostopniowej startującej z wyrzutni gumowej.

Oto jeden z wariantów możliwych do praktycznego zrealizowania,*) a mianowicie model rakiety trzystopniowej (rys. 88).

Konstrukcja całego modelu jest niezbyt skomplikowana. Z łatwo dostępnych materiałów, takich jak papier, tektura, klej stolarski, drewno i sznurek, budujemy trzy stopnie rakiety, mieszczące się jeden w drugim, oraz wyrzutnię. Pierwszy stopień rakiety zbudowany jest z tektury lub klejonego papieru i ma formę walca o grubości ścianki 4 mm. Długość jego wynosi 480 mm, średnica zewnętrzna 84 mm. Na obu końcach ma on zgrubienie z naklejonych dodatkowo pasków papieru grubości 3 mm. U dołu przyklejone są do walca 4 duże stateczniki usztywnione z boków skośnie przyklejonymi paskami z 1 mm tektury. Całość tej części rakiety nie powinna po wyschnięciu ważyć więcej niż 400 gramów. Przy klejeniu dolnego paska wzmacniającego wklejamy co 90° cztery ucha z drutu o ⌀ 1 mm, do których później umocujemy gumy naciągowe. W podstawę wklejamy również poprzeczną deseczkę z urządzeniem wyzwalającym, o którym mowa będzie dalej.

Drugi stopień rakiety ma również kształt walca długości 175 mm połączonego ze stożkiem długości 185 mm. Walec ten o średnicy 55 mm i grubości ścianki 2,5 mm wykonujemy identycznie jak I stopień — z papieru lub tektury. Posiada on dwumilimetrowe wzmacniające zgrubienia oraz 4 stateczniki przyklejone do ścianek stożka i walca, usztywnione paskami tektury jak w stopniu I. Ciężar tej części rakiety wynosić będzie około 100 G (bez gum). W dolnej części stożka wytniemy 8 otworów o ⌀ 1,5 i 10 mm służących do odprowadzenia wlatującego przodem powietrza.

Trzeci stopień rakiety składać się będzie z 2 stożków o wysokościach 65 i 210 mm i średnicy wspólnej podstawy równej 40 mm. Wykonujemy go z tektury podobnie jak poprzednie stopnie, z tą tylko różnicą, że głowicę robimy drewnianą z końcówką z drutu o średnicy 2,5 mm. Grubość ścianek trzeciego stopnia wyniesie 1,5 mm. Ciężar tej części nie powinien przekraczać 30 G. Trzeci stopień ma również 4 usztywnione stateczniki z cienkiego (0,5 mm) kartonu.

Wieża wyrzutni może być zbudowana z listewek drewnianych o przekroju 20×12 mm przybitych lub przyklejonych do krzyżaka z 2 desek. Listwy stanowią sztywną konstrukcję wytrzymującą silny naciąg gum wyrzucających całą rakietę. Podana na rys. 88 konstrukcja wyrzutni nie jest najlepszą ani najprostszą, stanowi jedynie pewien przykład konstrukcyjny. Po zbudowaniu wyrzutni i 3 stopni rakiety oraz sprawdzeniu,

*) wg. projektu inż. *A. Moldenhawera*

że wsuwają się one w siebie swobodnie (wysuwać się powinny wskutek własnego ciężaru), przystępujemy do umocowania pasków gumowych oraz budowy urządzeń wyzwalających poszczególne stopnie.

Przed startem poszczególne stopnie rakiety umieszczone są wewnątrz siebie przy maksymalnym naciągu gum, jaki jest możliwy dla danej długości i jakości pasków gumowych. Aby naciąg ten utrzymać w stanie równowagi, a następnie zwolnić go w żądanej chwili, stosujemy tu urządzenia automatyczne, działające na zasadzie popularnej myszołapki sprężynowej. Drążek wyzwalający II stopień rakiety przywiązany jest do takiego właśnie urządzenia umieszczonego na beleczce wklejonej do podstawy I stopnia rakiety.

Zwolnienie odbywa się przez pociągnięcie za nitkę jarzma przytrzymującego drucik, identycznego jak w myszołapce. Drugi koniec nitki przywiązany jest do podstawy wyrzutni. Długość nitki zaś jest długością lotu pierwszego stopnia rakiety. Grubość drutu na „myszołapkę" minimum 2,5 mm. Zwolnienie III stopnia rakiety jest umieszczone w dolnej, stożkowej części stopnia I i działa podobnie, choć ma nieco odmienną konstrukcję. Jest to haczyk z 1 mm blaszki aluminiowej obracającej się wokół osi zamocowanej w drewnianej listewce. Zwolnienie odbywa się podobnie jak w stopniu II.

Paski gumowe najlepsze są z gumy modelarskiej 1×4 mm. Gumy wyrzucające I stopień rakiety muszą być najmocniejsze. Dla zwiększenia ich energii wyrzutu przedłużamy je dwukrotnie przez zastosowanie rolek na końcach wyrzutni, po których kurcząca się guma przesuwa się swobodnie w czasie wyrzucania rakiety. Dwa paski gumowe opasujące okrągłą drewnianą podstawkę z wyciętymi w niej 4 prowadzeniami, przeciągnięte przez rolki, zaczepiamy przywiązanymi do ich końców kółkami na gwoździach wbitych w wyrzutnie. Zwolnienie odbywa się przez wyciągnięcie drutu sprzęgającego skobelki umocowane w podstawie wyrzutni i hak umocowany w podstawce stopnia. Zwolnienie to może być dokonane z pewnej odległości za pomocą sznurka.

Nieco słabszy naciąg zastosujemy do I stopnia rakiety. Cztery końce gum przytwierdzimy na stałe do uch znajdujących się w dolnej części tego stopnia. Gumy przewleczone są przez ucho w popychaczu I stopnia. Najsłabszy naciąg posiada II stopień rakiety. Tu również 4 końce 2 pasków gumowych zamocujemy na stałe w dolnej części stożka przywiązując je cienkim sznurkiem i przyklejając klejem. Są one przewleczone przez ucho mniejszego nieco popychacza o kształcie podobnym do poprzedniego.

W miejscach gdzie gumy przechodzą przez krawędź I i II stopnia rakiety, wycinamy 4 wręby oklejamy je na okrągło papierem, aby zmniejszyć do minimum tarcie przesuwającej się w tym miejscu gumy. Ponieważ tarcie to powoduje znaczne straty, należy więc te wręby po-

malować kilkakrotnie farbą i wygładzić, aby były śliskie, a przed każdym startem nasypać między nie a gumę szczyptę talku.

Start rakiety, będący ukoronowaniem naszych wysiłków i najbardziej emocjonującą chwilą, nastąpić może po sprawdzeniu należytego działania poszczególnych elementów rakiety. Najlepiej jest sprawdzić działanie poszczególnych stopni. Wystrzelić naprzód tylko III stopień rakiety z II jej stopnia pociągając za nitkę uwalniającą hak.

Następnie wystrzelimy sam II stopień z pierwszego. Na końcu z wyrzutni wystrzelimy sam I stopień bez następnych. Po całkowitym upewnieniu się, że wszystko działa prawidłowo, ustawimy kolejno wszystkie stopnie rakiety nasypując równocześnie do ich środka po łyżce stołowej talku lub pudru, w ostateczności mąki, co przy starcie da efekt podobny do wylotu pary wodnej, która wytwarza się przy locie prawdziwych rakiet napędzanych tlenem i wodorem. Talk ten wypełnia częściowo stożkową część II i III stopnia rakiety; w stopniu pierwszym wsypiemy go do specjalnie przylepionej kieszeni o kształcie stożka z uciętym końcem, skąd wysypywać się będzie w czasie lotu.

Długość nitki wyzwalającej każdy ze stopni rakiety należy ustalić doświadczalnie.

2. Regulowanie lotu modeli

Opisane wyżej modele rakiet mają jedną wspólną cechę: nie posiadają własnego napędu i nie są sterowane w locie. Mają natomiast stateczniki i są tak wyważane, aby automatycznie zachowywały równowagę w locie, to znaczy były stateczne. Przy budowie zatem musimy zwrócić baczną uwagę na poprawność wykonania poszczególnych części. W znacznym stopniu dotyczy to statecznikow, które nie mogą być zwichrowane i nie powinny odkształcać się po każdym lądowaniu.

Przed każdym startem przeglądamy model, czy kadłub się nie skrzywił, czy nie wypadła z niego jakaś część albo przewidziane obciążenie.

W tablicy 1 podano najczęściej popełniane błędy podczas startów modeli rakiet z wyrzutni gumowych i sposoby ich usuwania.

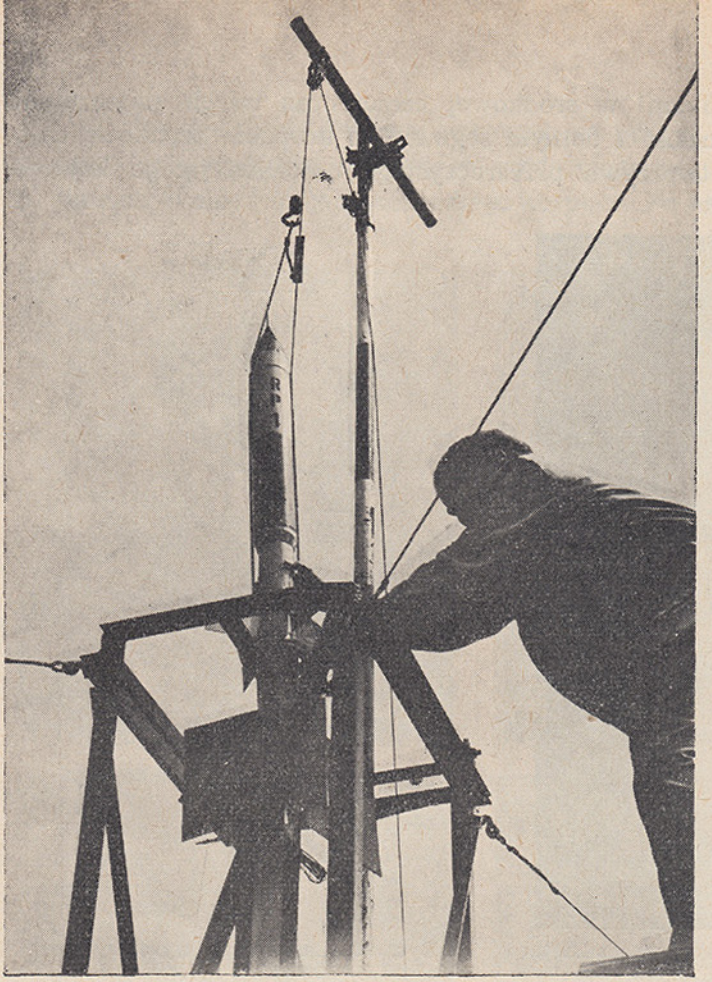
Tablica 1. Błędy popełniane podczas startów modeli rakiet z wyrzutni gumowych i sposoby ich usuwania

Objawy	Przyczyny	Sposób usuwania
1. Model zaczepia statecznikiem o widełki procy-wyrzutni	1. Model został źle wypuszczony	1. W chwili zwolnienia pasm gumy ręka trzymająca procę powinna wykonać „unik" ku ziemi
2. Model natychmiast po starcie upada na ziemię	2. Niewłaściwy przebieg startu: zbyt słaby naciąg gumy, albo zły kąt startu	2. Zwiększyć naciąg gumy, albo ustalić kąt startu w granicach 60—80° w stosunku do podłoża

Objawy	Przyczyny	Sposób usuwania
3. Model po starcie silnie zbacza z kierunku	3. Zwichrowany stateczek lub odgięta jego tylna krawędź	3. Naprostować, sprawdzając symetryczność ustawienia. Wymienić na nowy
4. Model „koziołkuje" po wyrzuceniu z procy	4. Możliwe zaczepienie statecznikiem o widełki procy. Złe wyważenie	4. Powtórzyć start w myśl uwag podanych wyżej. Sprawdzić wyważenie i położenie środka powierzchni bocznej
5. Model leci po właściwym torze, ale bokiem, zamiast głowicą do przodu	5. Zbyt mała powierzchnia usterzenia. Niewłaściwe położenie środka ciężkości	5. Zwiększyć powierzchnię usterzenia lub obciążyć nieco głowicę, np. drobnym śrutem ołowianym
6. Model nie ląduje na głowicy	6. Jak wyżej	6. Jak wyżej
7. Spadochron otwiera się natychmiast po starcie	7. Błędne ustawienie zamka-wyzwalacza	7. Regulować w kolejnych lotach, tak aby spadochron otwierał się tuż po przejściu wierzchołka paraboli-toru lotu
8. Model opada zbyt szybko na rozwiniętym spadochronie	8. Za mała powierzchnia czaszy spadochronu	8. Powiększyć rozmiary czaszy doświadczalnie
9. Czasza spadochronu zwija się uniemożliwiając łagodne opadanie rakiecie	9. Źle złożona czasza i linki nośne. Zbyt silnie zmięta tkanina i ściśnięte wokół niej linki	9. Ułożyć czaszę zupełnie luźno, sprawdzając przez nagłe wyrzucenie jej z pojemnika, czy sama się będzie rozwijać
10. Gumowe amortyzatory wyrzutni nagle pękają	10. Guma zleżała, albo źle związana, ulega przetarciu ocierając się o jakąś część	10. Wstawić nowe amortyzatory. Gumę przechowywać w ciemnym naczyniu posypując talkiem. Aby pasma się nie sklejały można je posmarować gliceryną lub szarym mydłem
11. Lont startowy nie pali się w ogóle, albo tli nieregularnie — miejscami	11. Lont wilgotny, lub nie spleciony z nici bawełnianych (lonty np. nylonowe nie nadają się)	11. Lont należy zanurzyć na kilkanaście minut do roztworu saletry w wodzie, wysuszając go następnie bardzo dokładnie. Zapalać rozżarzonym papierosem

Tabl. 1(cd.)

Objawy	Przyczyny	Sposób usuwania
12. Model nie osiąga zbyt dużej wysokości	12. Słaby naciąg gumy i zbyt mały jej przekrój poprzeczny. Niewłaściwie dobrany kąt startu	12. Zwiększyć naciąg. Powiększyć liczbę nici pasm gumy. Im bardziej stromy kąt w pobliżu 80° startu tym większą wysokość osiągnie model. Maksymalną odległość można uzyskać wyrzucając model pod kątem około 45°
13. Model załamuje tor lotu grożąc upadkiem na wyrzucającego	13. Zbyt stromy start. Tor lotu nagle załamuje się	13. Zmienić kąt startu w myśl podanych wyżej zaleceń. Startować zawsze pod wiatr — w jego łożu
14. Model znoszony jest przez wiatr, zakłócając tor właściwego lotu	14. Wiatr za silny na starty	14. Startować, wówczas gdy prędkość wiatru nie przekracza 5 m/sek
15. Model po wylądowaniu znika z pola widzenia i trudno go odszukać	15. Brak obserwatora śledzącego upadek rakiety. Rakieta pomalowana nie jaskrawo, a barwy ma łączące się z tłem. Wskazane barwy: czerwona, pomarańczowa i czarna	15. Śledzić dokładnie model od chwili startu do upadku. Orientacją, na jakiej linii szukać modelu może być obranie jakiegoś charakterystycznego punktu na horyzoncie (np. komina, domu itp.) uważając, aby podczas poszukiwania nie zboczyć z określonego „kursu"



ROZDZIAŁ IV

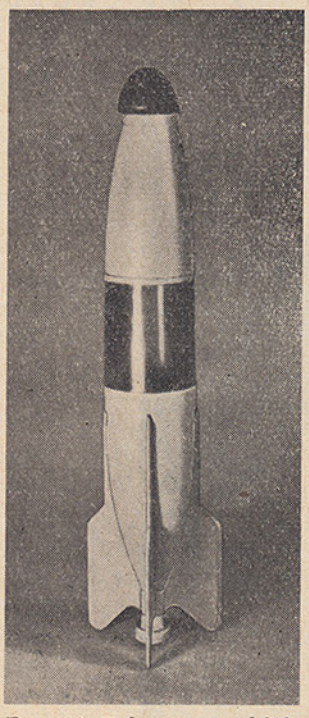
PRYMITYWNE RAKIETY Z NAPĘDEM WŁASNYM

1. Rakieta wodno-powietrzna

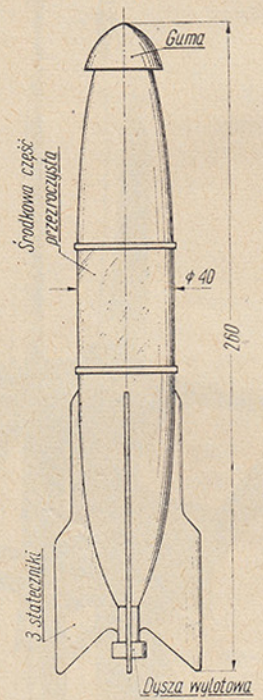
Rakieta wodno-powietrzna należy do najprostszych i najbezpieczniejszych w praktyce modelarskiej. Cechuje ją prostota budowy i eksploatacji. Służyć może zainteresowanym współczesną techniką do szeregu doświadczeń, a przede wszystkim zapoznaje bezpośrednio z działaniem odrzutu. Rakietę wodno-powietrzną można zbudować samodzielnie, można też posłużyć się modelem produkcji fabrycznej.

Pokazana na rys. 89 rakieta L-3 jest wyprodukowana w NRD, podobne rakiety produkuje się również w kraju i w ZSRR. Długość całkowita tej rakiety wynosi 260 mm, średnica (kaliber) — 40 mm (rys. 90). Materiał — tworzywo sztuczne. Korpus rakiety składa się z gumowej głowicy wtopionej w górną część skorupy, z trzech cylindrycznych segmentów

połączonych zakładkami w środkowej części oraz trzech stateczników tworzących jedną całość z dolnym segmentem korpusu. Środkowa część wykonana jest z tworzywa przezroczystego umożliwiającego kontrolę



Rys. 89. Fabryczna rakieta wodno-powietrzna



Rys. 90. Zasadnicze wymiary fabrycznej rakiety wodno-powietrznej

napełniania wodą. W dolnej części rakiety wtopiona jest plastykowa tuleja tworząca dyszę i jednocześnie umożliwiająca doprowadzenie powietrza za pomocą sprężarki (pompki).

Sprężarką pełniącą jednocześnie funkcję wyrzutni jest pompka, podobna do futbolowej, z tą różnicą, że ma inną końcówkę wylotową, zakończoną tuleją o średnicy pasującej do dyszy wylotowej rakiety. Na tulei osadzony jest pierścień gumowy zapewniający odpowiednią szczelność połączenia. Poza tym przy końcówce zamocowany jest zamek sprzęgający rakietę ze sprężarką podczas napełniania. Zamek ten zwalniany jest poprzez dźwignię sznurem, zakończonym wygodną do trzymania gałką. Uzupełnienie kompletu stanowi lejek wykonany z tworzywa sztucznego, umożliwiający napełnienie rakiety wodą. Ciężar własny rakiety pustej 45 G. Ciężar (startowy) rakiety napełnionej wodą do 1/3 pojemności całego zbiornika 100 G. Tworzywo, z którego wykonano rakietę, odznacza się dużą wytrzymałością i jest niełamliwe.

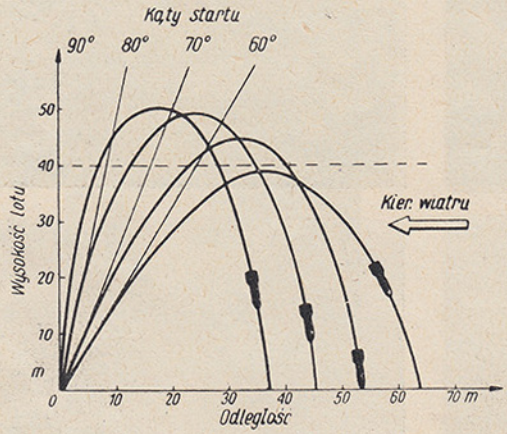
Przygotowania przedstartowe pokazano na rys. 91. Zgodnie z fabryczną instrukcją wystarcza napełnienie wodą pierwszego dolnego segmentu, co stanowi około 1/3 pojemności całego korpusu. Po nalaniu wody zakłada

Rys. 91. Poszczególne fazy przygotowań i startu rakiety wodno-powietrznej: a) nalewanie wody do wnętrza kadłuba, b) sprężanie powietrza za pomocą pompki-sprężarki, c) po pociągnięciu za wyzwalacz sznurowy, szczęki obejmujące ujście dyszy rozwierają się, d) rakieta wystrzela w powietrze rozpylając za sobą mgiełkę wody

się sprężarkę odwracając rakietę do pozycji właściwej i rozpoczyna pompowanie. Instrukcja zaleca około 15 ruchów tłokiem pompki. W praktyce można osiągnąć i 20 z tym, że wymaga to sporo wysiłku fizycznego. Usiłowania, aby przekroczyć podane wartości, są bezcelowe, bowiem mogą spowodować uszkodzenie rakiety rozerwanie się segmentów lub obrzeża dyszy. Jeśli chodzi o wartość dopuszczalnego ciśnienia jakie mo-

żemy wytworzyć w korpusie rakiety, to wynosi ono około 1—1,2 atmosfery.

Jak już wspomniano, rakieta wypełniona jest wodą w przepisowej ilości. Łatwo przekonać się podczas prób, że nie opłaca się wlewać zbyt dużo, ani też za mało wody, gdyż w pierwszym przypadku zbyt mało pozostanie miejsca na powietrze, w drugim zaś zbyt dużo. Ciąg silnika będzie wówczas słaby i krótkotrwały. Z chwilą zwolnienia zamka sprężone powietrze wyrzuca wodę przez dyszę (wielkość przekroju dyszy wpływa również na ciąg), wskutek czego powstaje ciąg nadający rakiecie odpowiednią prędkość (około 12 m/sek). Ciąg, malejący w miarę wypływu wody, umożliwia rakiecie osiągnięcie wysokości rzędu 30—50 metrów.



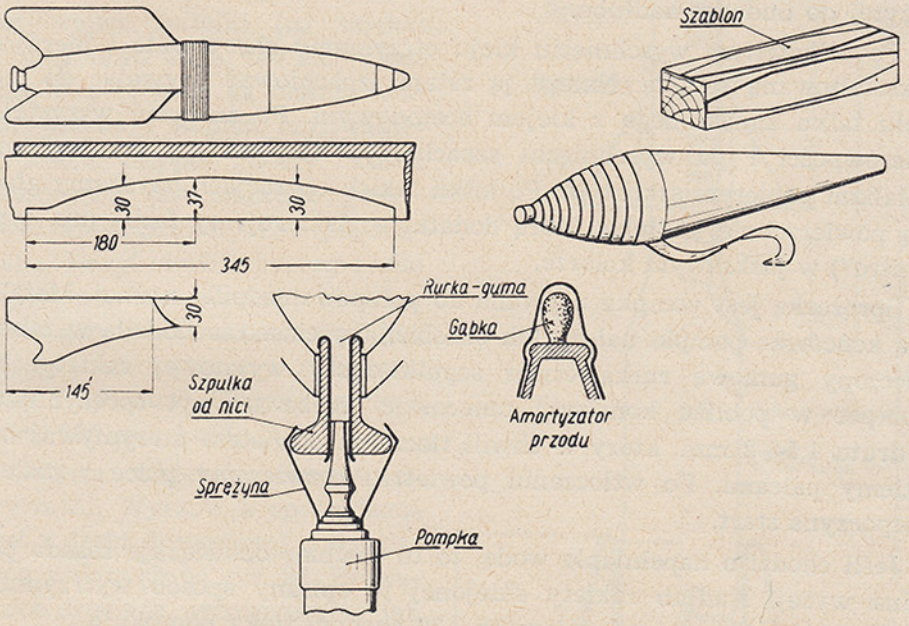
Rys. 92. Tory lotu fabrycznej rakiety wodno-powietrznej. W zależności od kąta nachylenia rakiety przy starcie ulega zmianie wysokość i odległość. Średni pułap około 40 m

Szereg próbnych startów wykonywanych przy dość porywistym wietrze pozwala stwierdzić co następuje: zachowując dobrą szczelność połączenia dysza—sprężarka i prawidłowe napełnienie wodą, uzyskuje się loty rakiety na wysokość około 50 m przy prawie prostopadłym ustawieniu korpusu rakiety w chwili startu. Przy ustawieniu zbliżonym do 60° wysokość maleje, a odległość rośnie, jak obrazuje to poglądowo rys. 92. Bardziej płaskie tory startu prowadziły do zupełnie nieudanych lotów na niewielką odległość. Rakieta wyrzucona bez wlania wody jest niestateczna i może osiągnąć wysokość zaledwie 2—5 m. Najlepiej startować przy pogodzie bezwietrznej. W omawianych doświadczeniach zaobserwowano doskonałą stateczność rakiety w locie silnikowym i bezsilnikowym z tendencją ustawiania się w łożu wiatru. Czas lotu rakiety od chwili startu do lądowania wynosi 5—7 sekund, w zależności od osiągniętych wysokości.

Zaobserwowane trudności to przede wszystkim dość kłopotliwe ustawienie rakiety pod zadanymi kątami, stąd niedoskonałość pomiarów.

Dobrze działającą rakietę z silnikiem wodno-powietrznym można sporządzić również samemu. Do budowy potrzebna jest sklejka grubości 1—1,5 mm i cienki materiał (najlepiej z pończoch kapronowych lub nylonowych) oraz klej wodoodporny — acetonowy.

Budowę rakiety rozpoczynamy od wykonania szablonu-wzorca, na którym dopiero skleimy właściwy kadłub. Szablon przygotowuje się według podanych wymiarów na rys. 93, nadając mu kształt wrzeciono-



Rys. 93. Samodzielna budowa rakiety wodno-powietrznej. Poszczególne fazy budowy

waty. Obrobiony szablon owija się cienkim wilgotnym papierem (najlepsze są pasy szerokości około 10—20 mm). Po wyschnięciu papier przylega silnie do szablonu i można rozpocząć właściwą pracę. Pończochę tniemy na wąskie paski szerokości 10—15 mm i owijamy nimi cały szablon, dokładnie zwój, za zwojem smarując paski klejem. W ten sposób naklejamy dwie pełne warstwy pasków, po czym należy odczekać aż klej dobrze wyschnie, a potem rozpocząć owijanie na nowo, aż grubość ścianki rury, powstałej ze sklejenia materiału, wyniesie 0,5—0,6 mm.

Całkowicie wysuszony kadłub przecinamy (drobno nacinaną piłką — najlepiej do metalu) w poprzek na połowę zsuwając łatwo z szablonu dwie stożkowe rury. Obecnie w przednią część rakiety osadzamy korek drewniany zaciskając go za pomocą nici i kleju. W dolną część kadłuba

ustawiamy szpulkę od nici z uciętym jednym krążkiem, wiążąc ją za pomocą kleju i pasków materiału z kadłubem. Przed wklejeniem szpulki wstawiamy w jej środkowy otwór rurkę gumową, której koniec jest odwinięty i dodatkowo zabezpieczony cienkim drutem.

Następnie do głowicy przyklejamy kawałek gumy gąbczastej oklejonej jakby woreczkiem nylonowym. Będzie to amortyzator przejmujący siły działające na kadłub w czasie lądowania. Po oczyszczeniu wnętrza obu połówek kadłuba z resztek kleju łączymy połówki w jedną całość owijając silnie bandażem złożonym z kilkunastu warstw cienkiej dzianiny użytej do budowy kadłuba.

Po całkowitym wyschnięciu kleju otrzymamy chropowatą i nierówno ukształtowaną rakietę. Należy ją zatem szpachlować używając do tego celu talku zmieszanego z klejem acetonowym. Po zakryciu wszystkich nierówności i po wyschnięciu szpachlówki oczyszczamy powierzchnię miałkim papierem szklistym. Po kilku takich operacjach uzyskamy gładką powierzchnię kadłuba, którą dodatkowo lakierujemy farbą (np. typu „nitro") w jaskrawym kolorze.

Sprężarką jest pompka używana do pompowania piłki nożnej. Metalową końcówkę pompki należy tak obrobić, aby ciasno wchodziła w zabezpieczony gumową rurką otwór szpulki-dyszy wylotowej rakiety. Na pompce w pobliżu końcówki umocować trzeba uchwyt sprężynujący z drutu 1,5—2 mm, który w chwili tłoczenia powietrza utrzymywać będziemy palcami. Po wtłoczeniu powietrza rozwieramy palce i rakieta rozpoczyna start.

Jeśli chodzi o napełnianie wodą, to tu również obowiązuje zasada podana wyżej. Kadłub rakiety sklejonej w opisany sposób wytrzymuje średnio ciśnienie odpowiadające 25—30 ruchom tłoka pompki [1]).

Opisane wyżej rakiety pokonują wysokość rzędu 30—60 m. Chcąc uzyskać przy napędzie wodno-powietrznym wysokości rzędu 80—100 m, należy zbudować wytrzymalszy kadłub i sprężarkę sprawniejszą od zwykłej pompki albo zaopatrzyć rakietę w dodatkowy stopień.

Dość oryginalnym rozwiązaniem i realnym do wykonania jest dwustopniowa rakieta wodno-powietrzna [2]). Rakieta ta może służyć, na przykład, do celów pokazowych pozwalając na obserwację oddzielania się drugiego stopnia. Zbyt duży, niestety, ciężar własny powoduje, że rakieta tego rodzaju osiąga zaledwie wysokość około 15 m. Drugi stopień po oddzieleniu się ląduje na spadochronie. Główny kadłub pierwszego stopnia tworzą dwie butelki plastykowe. Rakieta po napełnieniu jej wodą

---

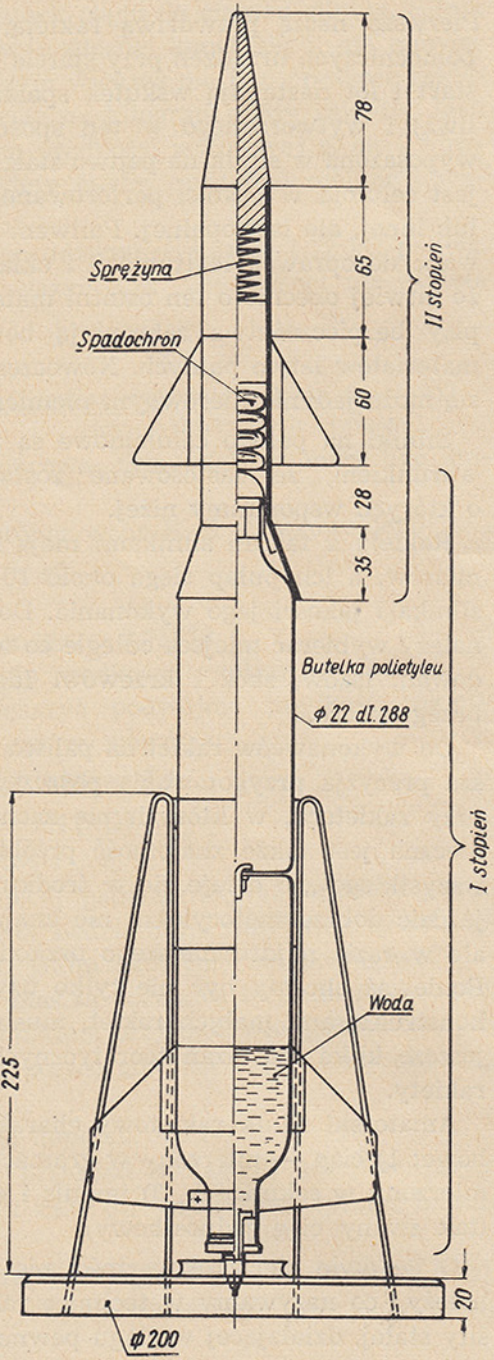
[1]) Sposób budowy rakiety opracowany został przez *inż. Jurija Moralewicza* — ZSRR

[2]) Według pomysłu *Kazimierza Tworka*

i napompowaniu powietrzem ustawiona jest na wyrzutni zaopatrzonej w cztery druciane prowadnice i drewnianą podstawkę. Start rakiety następuje po zwolnieniu specjalnej nici kotwicznej. Na rysunku 94 przedstawiono poglądowo omawianą rakietę. A oto opis jej budowy. Materiałami do budowy są: drewno, blacha, celuloid i sklejka (1 mm grubości), poza tym drut stalowy średnicy 1 mm i dwie polietylenowe butelki (od mleka) o pojemności około 250 cm^3. Dwie butelki połączone są dnami tworząc pierwszy stopień, czyli rakietę nośną. Szyjka górnej butelki zakończona jest korkiem gumowym umiejscowionym owijką drucianą. Drugi stopień tworzy rurka papierowa z drewnianą głowicą. Wewnątrz rurki umieszczony jest spadochron wykonany z batystu (240 × 240 mm). Długość czterech linek 210 mm każda.

Gotowa rakieta spoczywa na wyrzutni. Wyrzutnia sporządzona jest z deski drewnianej o wymiarach podanych na rys. 94. Prowadnice druciane wykrępowane, jak widać z rysunku tak aby środkowa ich część była prostopadła do podstawy.

Start rakiety następuje po wlaniu wody do butelki w ilości około $^1/_4$ pojemności i po wtłoczeniu powietrza przez zawór umieszczony w szyjce dolnej butelki. Z chwilą otwarcia zaworu, na przykład odległościowo za pomocą linki, rakieta rozpoczyna lot. Po ustaniu pracy silnika pierwszego stopnia odłącza się drugi stopień otwierając pod działaniem sprężyny spadochron.



Rys. 94. Dwustopniowa rakieta wodno-powietrzna

2. Pierwsza rakieta na paliwo stałe

Pierwszą naszą prawdziwą rakietą, w której nie będzie już żadnych pomocniczych urządzeń przy starcie (np. procy itp.), a której samodzielny start i lot następują wskutek spalania materiału pędnego (ładunku paliwa) i wytworzonego w ten sposób ciągu-odrzutu, jest mała rakieta wyposażona w silnik na paliwo stałe. W naszym przypadku paliwem tym jest celuloid w postaci perforowanej filmowej taśmy 35 mm szerokości lub innej, ale łatwopalnej. Paliwem mogą być też płytki celuloidu stosowane do oprawek legitymacji i okładek notesów. Warto zwrócić uwagę, że łatwiej obecnie o ten ostatni materiał niż palną filmową taśmę. Przepisy bezpieczeństwa zabraniają bowiem stosowania w kinematografii materiałów łatwo palnych. Nowoczesna zatem taśma nie wybucha, a tlić się może jedynie nierównym płomieniem.

Silniki na paliwo celuloidowe są zupełnie bezpieczne w obsłudze pod warunkiem, że zastosowane zostaną odpowiednie środki ochronne, o których wspomnimy niżej.

Rakiety z takimi silnikami mają również wiele wad: są małych rozmiarów, a ich pułap sięga około 10—40 m w zależności od sprawności silnika i jakości jego wykonania. Do prób z silnikami na błonę filmową należy wybierać miejsca odległe co najmniej o 200 m od wszelkich zabudowań, lasów, zbóż i krzewów. Idealne będzie pole orne, rżysko lub brzeg jeziora.

Od wykonawców rakiet na paliwo stałe wymagana jest znacznie większa precyzja przygotowania poszczególnych części niż miało to miejsce przy rakietach, w których nie zachodził proces spalania ładunku. Konieczna jest także znajomość przebiegu spalania, jednym słowem tego wszystkiego „co dzieje się w środku" silnika rakiety. Można co prawda jeździć dobrze motocyklem nie znając zasad pracy silnika spalinowego, ale w razie najdrobniejszego uszkodzenia, taki kierowca jest bezradny. Ponieważ chcemy być nie tylko użytkownikami, ale przede wszystkim konstruktorami małych rakiet, musimy poznać je „na wylot". Stąd też jeszcze kilka rozważań teoretycznych przed przystąpieniem do budowy rakiety.

Amatorski silnik rakietowy charakteryzują następujące wartości liczbowe: 1) ciąg — mierzony w gramach lub kilogramach, 2) czas pracy — mierzony w sekundach, 3) impuls i 4) stosunek ciągu do ciężaru silnika (tak zwany ciąg jednostkowy).

O ile dwie pierwsze wartości nie wymagają objaśnienia, to wyjaśnić należy co nazywamy w technice rakietowej impulsem. Otóż impulsem siły stałej, działającej w ciągu pewnego okresu czasu, nazywamy iloczyn siły przez czas; impuls mierzy się jednostkami [kG · sek]. Istnieje ponadto pojęcie impulsu właściwego, jest to ciąg uzyskiwany ze spalenia 1 kG

paliwa w przeciągu 1 sekundy. Pojęcie to ma wymiar czasu, jednostką jest sekunda.

Ważny jest także odpowiedni stosunek ciągu do ciężaru silnika. Silnik np. o małym ciągu nie udźwignie swej własnej konstrukcji, nie mówiąc o kadłubie i wyposażeniu rakiety. Czym większa ma być prędkość rakiety, tym więcej paliwa musi przypadać na kilogram masy rakiety. Jeśli rakieta ma lecieć z prędkością równą prędkości wylotowej gazów, wówczas na każdy kilogram ciężaru rakiety pustej musi być spalone i wyrzucone paliwo w ilości 1,72 kG.

Każdy kilogram rakiety musi zatem udźwignąć jeszcze 1,72 kG paliwa. Rakieta wypełniona paliwem musi ważyć 2,72 razy więcej niż rakieta bez paliwa (pusta).

Stosunek mas

$$m = \frac{\text{ciężar rakiety pustej + paliwo}}{\text{ciężar rakiety pustej}} = \frac{\text{ciężar całkowity rakiety (startowy)}}{\text{ciężar rakiety pustej (własny)}}$$

Im większa ma być prędkość końcowa, tym większy musi być stosunek m.

Stosunek mas wyraża między innymi wzór K. E. Ciołkowskiego:

$$m = e^n$$

gdzie:

e — podstawa logarytmu naturalnego = 2,71828 ...,

n — stosunek prędkości rakiety do prędkości wypływu gazów.

Jeśli na przykład chcemy zwiększyć podwójnie prędkość rakiety w stosunku do prędkości wypływu gazów, wówczas:

$$m = e^n = 2{,}71828^2 = 7{,}4$$

$$m = \frac{1\ [\text{kG}] + 6{,}4\ [\text{kG}]}{1\ [\text{kG}]} = 7{,}4$$

Potrzebujemy zatem 6,4-krotnie więcej paliwa niż waży rakieta pusta. Innymi słowy ciężar startowy rakiety będzie o 7,4 razy większy od ciężaru własnego. Obojętne przy tym, jakim będziemy się posługiwać paliwem. Liczby określające stosunek mas są podstawą techniki rakietowej.

Jasne jest teraz, jak ważnym czynnikiem przy budowie naszych małych rakiet staje się lekkość wykonania poszczególnych części i wysoki ciąg miniaturowych przecież silników.

Wróćmy jeszcze do wspomnianego impulsu.

Jeśli dysponujemy silnikiem na przykład o ciągu 2 kG pracującym przez 10 sek, to mnożąc ciąg przez czas otrzymamy w wyniku impuls równy 2 kG · 10 sek = 20 kGsek.

Jeśli ilość paliwa, jakim dysponujemy wynosi np. 50 gramów (czyli 0,050 kG), to możemy obliczyć impuls właściwy, który wyniesie 20 : 0,050 = 40 kGsek.

Znajomość impulsu właściwego przydatna jest przy porównywaniu różnych paliw, przybliżonym obliczaniu ciągu oraz czasu spalania.

Impuls właściwy można obliczyć znając jedynie prędkość wylotową gazów. Wówczas

$$I_w = \frac{V_{wyl}}{g}$$

gdzie:

I_w — impuls właściwy,

V_{wyl} — prędkość wylotowa gazów,

g — przyspieszenie ziemskie — 9,81 m/sek^2.

Niżej zestawiono podstawowe wzory obliczeniowe w uproszczonej dla celów amatorskich formie:

i m p u l s

$$I = R \cdot t \quad [\text{kGsek}]$$

gdzie: R — ciąg, t — czas pracy,

i m p u l s w ł a ś c i w y

$$I_w = \frac{R \cdot t}{Q} \quad [\text{sek}]$$

gdzie: Q — ciężar paliwa

stąd możemy obliczyć c i ą g

$$R = \frac{I_w \cdot Q}{t} \quad [\text{kG}]$$

c i ę ż a r p a l i w a

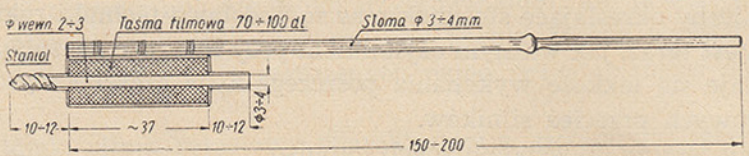
$$Q = \frac{R \cdot t}{I_w} \quad [\text{kG}]$$

i c z a s p r a c y

$$t = \frac{I_w \cdot Q}{R} \quad [\text{sek}]$$

Silnik na paliwo z taśmy celuloidowej może mieć ciąg wynoszący około 50—70 G przy czasie spalania 3—10 sek.

Przykładowo warto podać, że 6 G ładunek prochowy małej rakiety ma impuls właściwy 120 sek, a czas spalania 3 sek i ciąg 240 G *). Silnik dużej rakiety USA „Sergeant" rozwija ciąg 24 tonn w ciągu sek.



Rys. 95. Rakieta na paliwo stałe: taśmę filmową

Po krótkim wstępie teoretycznym przechodzimy do opisu budowy najprostszej rakiety z prętowym usterzeniem, która jest latającym silnikiem załadowanym taśmą filmową 35 mm (rys. 95).

*) Łatwo sprawdzić podane wartości: ciąg = $\frac{120 \cdot 6}{3} = 240$ G; ciężar paliwa $\frac{240 \cdot 3}{120} = 6$ G; czas pracy $\frac{120 \cdot 6}{240} = 3$ sek.

Przygotowujemy odcinek taśmy filmowej długości 70—100 mm. Taśmę nawijamy ciasno, tak aby wewnątrz zwoju zachować otwór średnicy 3—4 mm. Można sobie ułatwić tę operację zwijając taśmę na drewnianym szablonie-kołku o podanej średnicy. Zwinięty brzeg taśmy sklejamy kilkoma kroplami kleju acetonowego. Obecnie tworzymy właściwą obudowę i dyszę naszego ładunku paliwa. Owijamy taśmę staniolem o takich wymiarach, aby z obu końców wystawał na 10—12 mm tworząc przedłużenie dyszy. Najłatwiej ukształtować staniol rurowo za pomocą kołka drewnianego. Podana średnica otworu wylotowego jest maksymalna i nie powinna być zwiększana, gdyż spadnie wówczas wartość ciągu.

Następnie zawijamy ciasno staniol w części przedniej silnika pozostawiając otwartą dyszę z tyłu.

Do tak sporządzonej rakiety doklejamy łącząc dodatkowo cienkimi nićmi odcinek słomy długości 150—200 mm i średnicy zewnętrznej około 3—4 mm. Spełnia on rolę statecznika podczas lotu i ułatwia start. Start bowiem odbywa się w ten sposób, że wkładamy statecznik do niewielkiej butelki-wyrzutni, zapalamy ładunek paliwa i rakieta wzlatuje lekko w powietrze.

Zanim to jednak zrobimy należy zwrócić uwagę, aby taśma filmowa nie była pozbawiona emulsji światłoczułej, gdyż w przeciwnym przypadku szybko gaśnie. W innych typach silników pożądane jest natomiast zmycie emulsji (w ciepłej wodzie), gdyż spalane jej resztki zaklejają dysze wylotowe.

Opisany typ rakiety zapalamy rozżarzonym końcem drutu i to nie od strony dyszy wylotowej, a od przodu.

Imponujący może być ciąg naszego silnika, który wynosi równo 3 G. Jeśli ciężar gotowej rakiety nie przekroczy 1 G wówczas gwarantowany pułap (przy bezwietrznej pogodzie) wyniesie ok. 20 m. Przyznać śmiało można, że wynik jak na takie maleństwo, nie najgorszy.

A oto drugi typ silnika bardziej już skomplikowanego w konstrukcji (rys. 96). Może on służyć do napędu małych rakiet kartonowych, jednak najlepszy wynik uzyskamy doczepiając do niego cienki pręt ustatecznia jący, jak uprzednio (długość pręta około 2—3 długości silnika).

Ładunek paliwa składa się z taśmy 35 mm szerokości o długości 350 mm (film naświetlony i wywołany — z emulsją) ciasno zwiniętej z otworem wewnętrznym średnicy 1—1,5 mm.

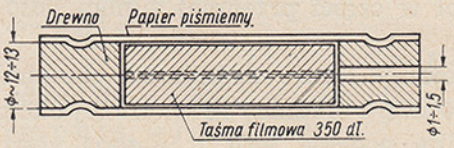
Z obu końców zwoju umieszczamy dwa drewniane „korki", jeden pełny, a drugi z otworem o średnicy 1—1,5 mm umieszczonym dokładnie na osi. Średnica „korków" około 12—13 mm w zależności od średnicy rolki taśmy. Całość owinięta jest papierem piśmiennym tak, aby obejmował on ciasno i ładunek i „korki". Długość pasa papieru około 400 mm.

Cały silnik owijamy silnie szarą mocną nicią, szczególnie w miejscach gdzie zaznaczone są rowkowate nacięcia na „korkach".

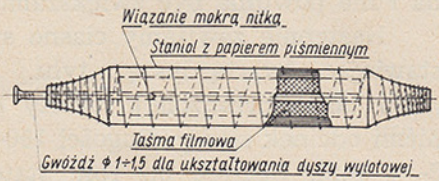
Zapłon następuje przez włożenie cienkiego drutu rozżarzonego do czerwoności w otwór dyszy wylotowej i potrzymanie go tam w ciągu 1—2 sekund, dopóki nie ukaże się dym spalin.

Ciężar gotowego silnika wynosi 12—15 G, ciąg 50—70 G, czas pracy 8—10 sek w zależności od sposobu zwinięcia taśmy. Im ciaśniej będzie zwinięta, tym lepiej.

Trzeci rodzaj silnika podano na rys. 97. Jest on zbudowany z identycznej jak wyżej ilości taśmy filmowej. Dla ukształtowania dyszy wy-



Rys. 96. Silnik na paliwo celuloidowe



Rys. 97. Inny rodzaj silnika na paliwo celuloidowe

lotowej taśmę zwijamy na gwoździu średnicy 1—1,5 mm, owijając następnie ładunek staniolem przełożonym papierem piśmiennym. Całość następnie owijamy mokrą nicią na krzyż, a ukształtowanie dyszy wylotowej i zamknięcia ładunku z przodu uzyskujemy przez silne ściągnięcie nici w tych miejscach.

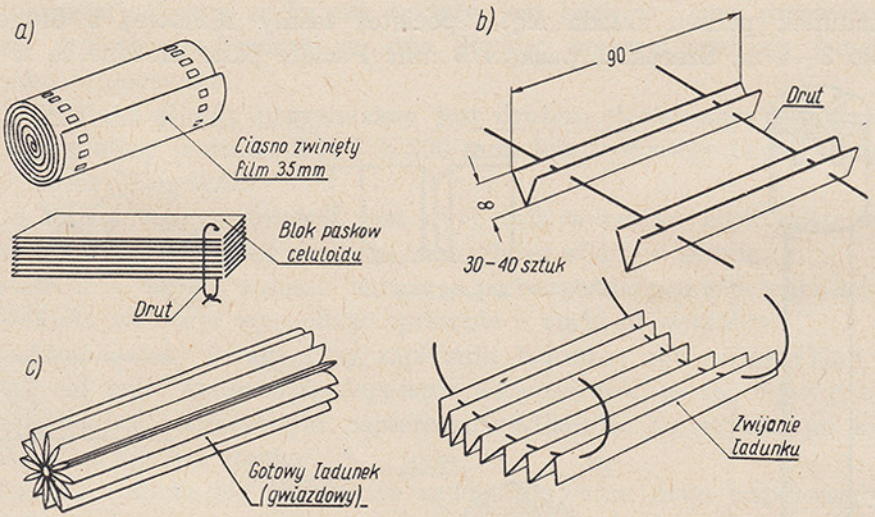
Mokra nić po wyschnięciu skurczy się, jeszcze mocniej ściskając całą obudowę. Po wyjęciu gwoździa-szablonu uzyskujemy ciekawie ukształtowaną dyszę wylotową podobną do stosowanych w wielkich silnikach rakietowych.

Warto porównać, który z opisanych wyżej trzech rodzajów silników będzie najlepszy, tj. odznaczy się największym ciągiem.

Uważny czytelnik zwrócił zapewne uwagę, że przy budowie silników stosowano staniol i papier. Otóż zrobiono to celowo, bowiem taki silnik w przypadku rozerwania się czy zapalenia nikomu nie zrobi szkody. Budując lepsze, bo własne silniki tego typu, musimy zwracać uwagę, aby nie stosować np. rurek metalowych, nawet aluminiowych. W żadnym przypadku nie są one wskazane. Przede wszystkim będą za ciężkie, a następnie gdy zostaną rozerwane wskutek jakiejś nieprawidłowości spalania się ładunku paliwa, odłamki mogą nas dotkliwie pokaleczyć.

Wyżej omawialiśmy silniki, w których taśma zwinięta była w ciasną rolkę. Nie jest to jedyny sposób pakietowania ładunku. Można bowiem ładunek celuloidu pociąć na wąskie paski i ułożyć ciasno w pakiet. Można również paski naciągnąć na cienki drut układając je po tym w postaci gwiazdy — co zapewnić powinno bardziej jednostajne spalanie ładunku (rys. 98).

Obliczenia związane z projektowaniem silników omawianego typu można łatwo przeprowadzić mimo iż brak szeregu danych liczbowych, które możliwe są do osiągnięcia wyłącznie przez doświadczenie.



Rys. 98. Sposoby przygotowania ładunku paliwa z taśmy filmowej: a) zwijanie taśmy i pakietowanie bloku pasków, b) zwijanie ładunku, c) sporządzanie ładunku gwiazdowego

Ważne jest ustalenie najkorzystniejszej średnicy dyszy wylotowej. Można ją znaleźć przyjmując, że jest ona zależna od powierzchni taśmy filmowej ładunku. Stosunek przekroju dyszy do powierzchni taśmy (mierzonych w cm^2) wynosi około 1000—1500 dochodząc do 7000 [1]). Przyjmijmy, że mamy taśmę filmową o długości 200 cm. Powierzchnia taśmy, nie licząc otworów perforacji, wyniesie $200 \cdot 3{,}5 = 700$ cm^2. Jeśli stosunek powierzchni przyjmiemy za 1500, to powierzchnię przekroju dyszy otrzymamy, dzieląc powierzchnię taśmy przez 1500:

$$700 : 1500 = 0{,}47 \text{ cm}^2$$

Średnica dyszy $d = \sqrt{0{,}47} = 0{,}78$ cm, co po zaokrągleniu daje 8 mm.

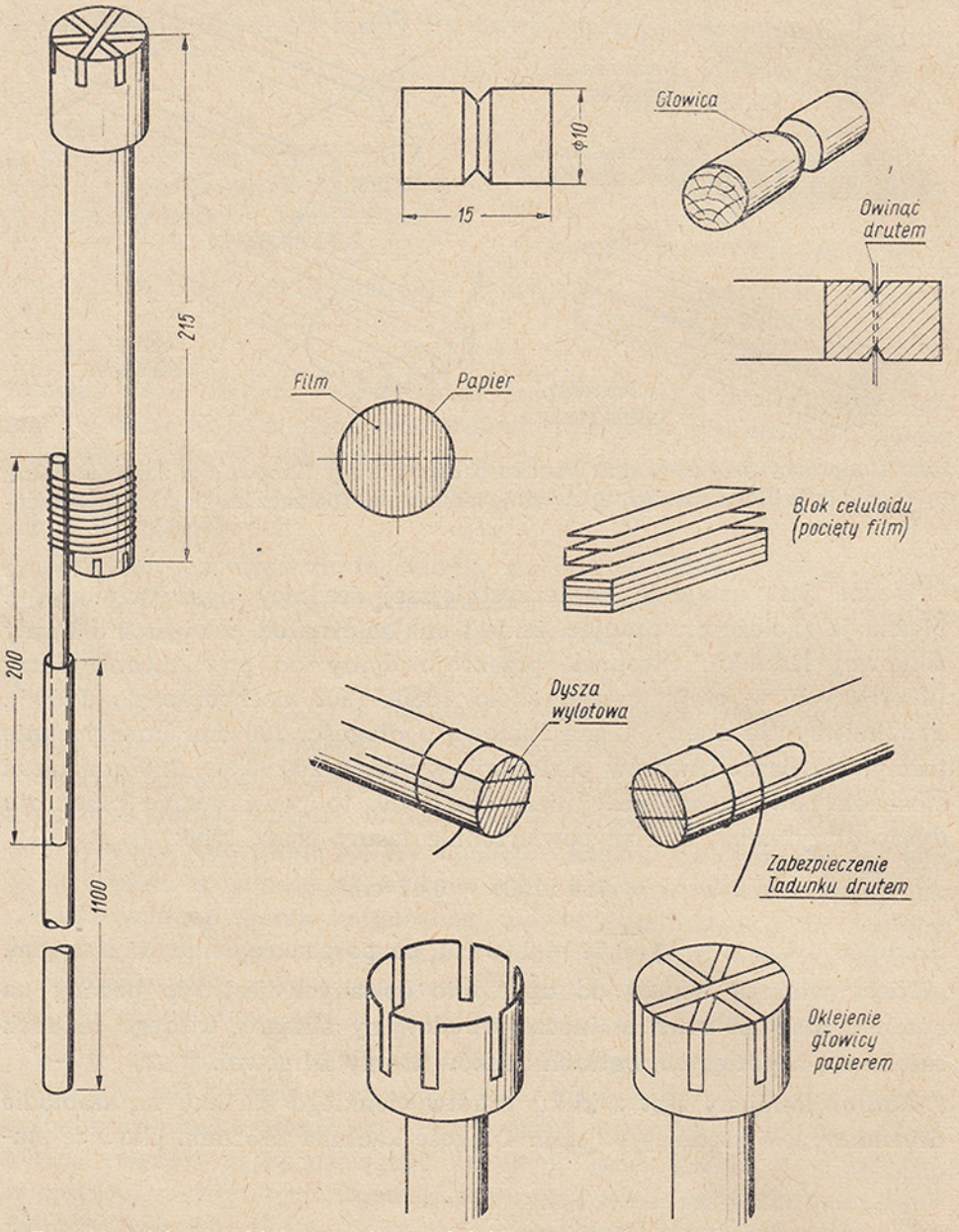
Nieco większą rakietą od uprzednio opisanych jest typ podany na rys. 99. Ma ona również inaczej zbudowany silnik [2]), którego ładunek składa się z pociętych wąskich pasków taśmy filmowej.

Kadłub sklejony jest z kilku warstw cienkiego kartonu na szablonie drewnianym o średnicy 12 mm. Długość kadłuba 215 mm. Głowicę sta-

[1]) wg *mgr inż. J. Walczewskiego*
[2]) wg pomysłu *Ernesta Piaseckiego*

nowi kołek drewniany wykonany według podanych na rysunku 99 wymiarów. Osadzony on jest w kadłubie i umiejscowiony przez okręcenie cienkim drutem w miejscach przewężonych. Wklejoną głowicę należy uszczelnić dodatkowym „kapturem" papierowym uwidocznionym na rysunku.

Ładunek paliwa składa się z pociętej taśmy filmowej o długości około 3—4 m. Szerokość pasków 9 mm. Pocięte paski złożone są w je-



Rys. 99. Większa rakieta na paliwo celuloidowe, startująca z wyrzutni rurkowej

den ścisły blok. Blok wkładamy do wnętrza kadłuba tak, aby nie rozciągały się jego ścianki. Wystające, nierówne paski należy obciąć, najłatwiej piłką do metalu. Aby ładunek paliwa nie wypadł, zabezpieczony jest podwójnie owiniętym drutem stalowym o średnicy 0,5—0,8 mm.

Charakterystyczną cechą tej rakiety jest brak typowej przewężonej dyszy wylotowej. Tworzy się ona dopiero podczas spalania ładunku niejako samoczynnie.

Do kadłuba silnika przywiązany jest drutem statecznik prętowy wykonany z balsy (rozmiar 3 × 5 × 500 mm) lub z prostego odcinka słomy o tej samej długości.

Do startu najwygodniejsza jest wyrzutnia w postaci rurki metalowej o średnicy wewnętrznej około 10 mm wbitej silnie w ziemię.

Statecznik rakiety wchodzi w rurę, a po bezpośrednim zapaleniu ładunku rakieta wzlatuje wychodząc sprawnie z rurki-prowadnicy.

Zwrócić należy uwagę przy zapalaniu ładunku, aby na przykład nie zaczął się palić statecznik. Zapalenie bezpośrednie może najwygodniej przeprowadzić rozżarzonym papierosem, oddalając się szybko na kilka kroków od miejsca startu.

Opisana rakieta nie wszystkich zadowoli swoimi mało współczesnymi kształtami, gdyż w istocie oparta jest na wzorach dawnych „latających strzał" wojowników mongolskich. Jej niewątpliwą zaletą są jednak efektowne loty, co nie zawsze musi być cechą rakiet omawianego typu, zbliżonych wyglądem do współczesnych pojazdów kosmicznych.

Przy omawianiu startu wspomniano o bezpośrednim zapalaniu ładunku. Jest to sposób wystarczająco bezpieczny przy tym typie rakiet, nie jest jednak w stu procentach „techniczny", bo przecież wielkiej rakiety nikt nie podpala końcem papierosa!

Przyznać trzeba, że celowo nie komplikowaliśmy urządzenia zapłonowego bardzo małych rakiet, ale gdy chodzi o nieco większe to dla samego przyzwyczajenia się do „prawdziwej techniki" warto przemyśleć nad takim systemem zapłonu, aby można było go uruchamiać z większej, a zatem bezpiecznej odległości i co jest również ważne: móc obserwować pełny przebieg lotu.

Rozpatrzmy zatem możliwości wykonania takiego urządzenia. Wspomniano uprzednio o roli lontu bawełnianego. Otóż z powodzeniem może on być zastosowany do zapalania ładunku celuloidowego w myśl uprzednio podanych wskazówek. Końcówka lontu powinna tkwić tuż przy ładunku taśmy, aby mogła się ona zapalić. Lont jednak musimy również zaliczyć do urządzeń prymitywnych, stąd też dążność do wykorzystania innych możliwości zapalania ładunków. Lont ma niekontrolowaną prędkość spalania się, może na przykład raz palić się bardzo powoli, a innym razem spalać błyskawicznie.

Najbardziej nowoczesnym i rzec można eleganckim jest zapłon elektryczny. Najprostszą jego formą będzie łepek zapałki owinięty krótkim

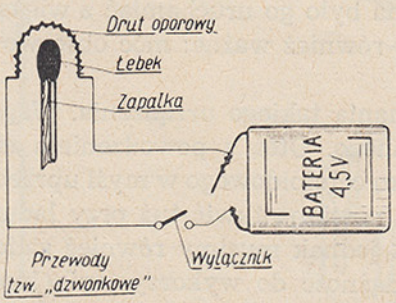
odcinkiem (około 10 mm) cienkiego drutu oporowego (chromonikieliny). Końce drutu połączone są dwoma przewodami o długości 10—20 m. Z chwilą gdy końce przewodów połączyć z biegunami baterii płaskiej 4,5 V, drut oporowy rozżarzy się zapalając główkę zapałki.

Jeśli tak skonstruowany zapłonnik umieścimy wewnątrz silnika, mamy możność zdalnego zapalania ładunku bez uciekania się do użycia otwartego ognia. Sposobem tym posługiwać się będziemy przy wszystkich dalszych próbach, jako najpewniejszym i najbezpieczniejszym.

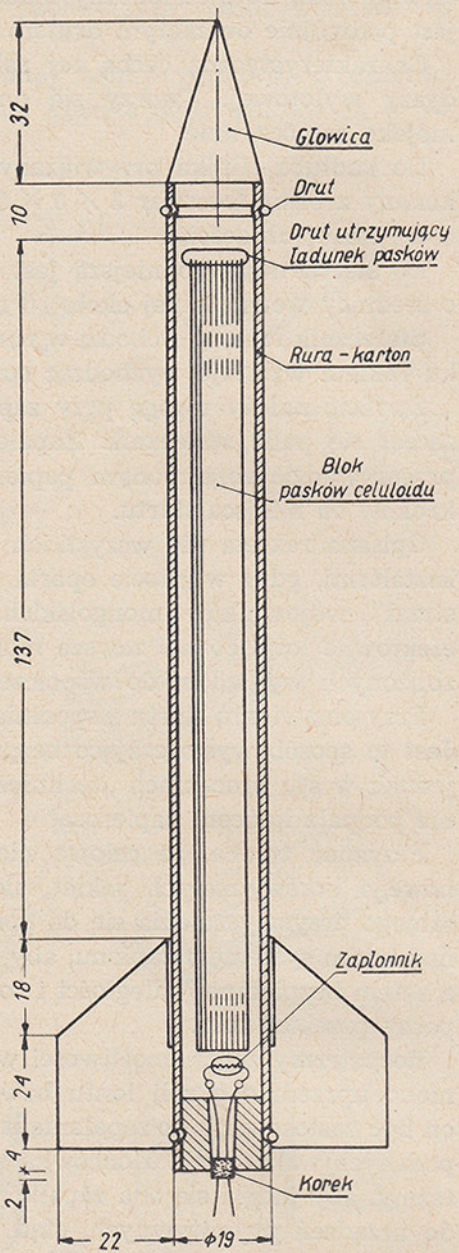
Konstrukcję zapłonnika podano na rys. 100. Start naszych rakiet nastąpi po naciśnięciu wyłącznika. Identycznie zatem, jak to się dzieje w dużych konstrukcjach.

Przykładem zastosowania zapłonu elektrycznego może być rakieta podana na rys. 101[1]). Kadłub jej tworzy rurka zwinięta z pasków papieru. Głowicę wytoczono z drewna, usterzenie kartonowe.

Ładunek paliwa — blok z pasków celuloidu zawieszony na drucie. W dolnej części dysza drewniana, którą zamyka koreczek z przewodami za-

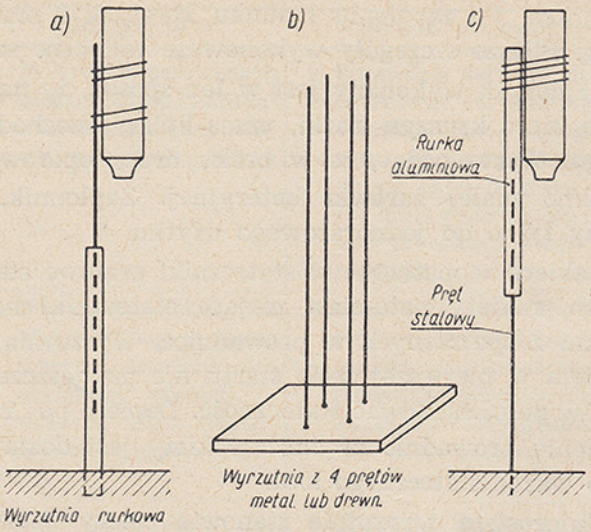


Rys. 100. Konstrukcja najprostszego zapłonnika elektrycznego. Rozżarzony drut oporowy zapala masę palną zapałki

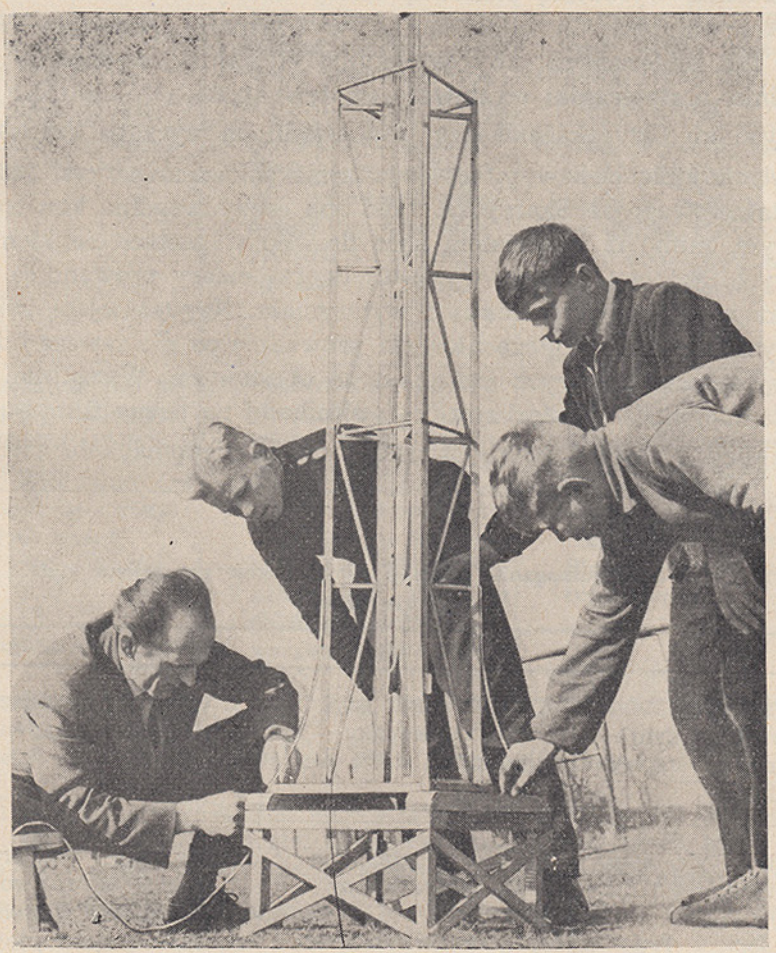


Rys. 101. Rakieta na paliwo celuloidowe z odległościowym zapłonem elektrycznym. Zapłonnik osadzony jest w dyszy wylotowej

[1]) Wg projektu *inż. Romana Odolińskiego*



Rys. 102. Trzy wyrzutnie szkolne: a) rurkowa, b) z 4 prętów metalowych lub drewnianych, c) jednoprętowa



Rys. 103. Drewniana wyrzutnia konstrukcji kratowej

płonnika. Po zapaleniu ładunku koreczek i przewody oczywiście odpadają. Bliższe szczegóły wykonawcze widoczne są dokładnie na rysunku.

Zapłonnik wykonany jest w ten sposób, że na kawałku bibułki naklejono nieco kruszyn siarki, przez którą przechodzi odcinek drutu oporowego. Warto podać, że w braku drutu oporowego można wykorzystać włókno małej żarówki bateryjnej. Zapłonnik, podobnie jak rakieta, służy tylko do jednorazowego użytku.

Rakiety zaopatrzone w stateczniki prętowe startują z wyrzutni rurkowych, rakiety natomiast mające stateczniki normalne wymagają wyrzutni zaopatrzonych w prowadnice. Wyrzutnia jest konieczna, bowiem rakieta w pierwszej fazie startu nie ma jeszcze dostatecznej prędkości, aby w pełni zachować stateczność. Dopiero po „rozpędzeniu" się, po opuszczeniu prowadnic prędkość rakiety jest dostateczna do samodzielnego i co ważne statecznego lotu.

Najprostszą wyrzutnię stanowią cztery listwy drewniane lub pręty metalowe przybite do odpowiednio wytrzymałej podstawy. Rakieta zostaje tak umieszczona, aby jej kadłub ślizgał się swobodnie wzdłuż prowadnic, a stateczniki wystawały na zewnątrz.

Na rysunku 102 pokazano trzy typy szkolnych wyrzutni do rakiet.

Konstrukcyjnie ciekawym jest wyrzutnia pokazana na rys. 103 dzieło Koła Rakietowego ze Skarżyska. Nosi ona cechy wspólne konstrukcjom kratowym, mimo iż materiałem było drewno w postaci cienkich listew sosnowych. Szkielet główny wyrzutni tworzą cztery prowadnice obudowane kratownicą. Całość lekka i wytrzymała. Najważniejszą zaletą jej jest uzyskanie równoległego ułożenia prowadnic co nie zawsze udaje się przy wyrzutniach, których końce nie są obudowane. Wyrzutnia ta, jak i poprzednie, służy do startu rakiet z silnikami na taśmę filmową.

W tablicy 2 zestawiono najbardziej typowe niedomagania zachodzące podczas startów omówionych rakiet oraz sposoby ich usuwania.

Tablica 2. Typowe niedomagania podczas startu rakiet na paliwo stałe i sposoby ich usuwania

Objawy	Przyczyny	Sposób usuwania
1. Po zapaleniu lontu pojawił się dym — rakieta nie rusza z miejsca	1. Lont zgasł, gdyż nie dotykał ładunku — był za krótki	1. Osadzić lont właściwie, tj. głębiej w ładunku
2. Lont tli się, a po chwili gaśnie	2. Lont wilgotny, lub źle spreparowany	2. Wysuszyć. Powtórnie zanurzyć do roztworu soli lub saletry w wodzie. Dobrze wysuszyć

Tabl. 2 (cd.)

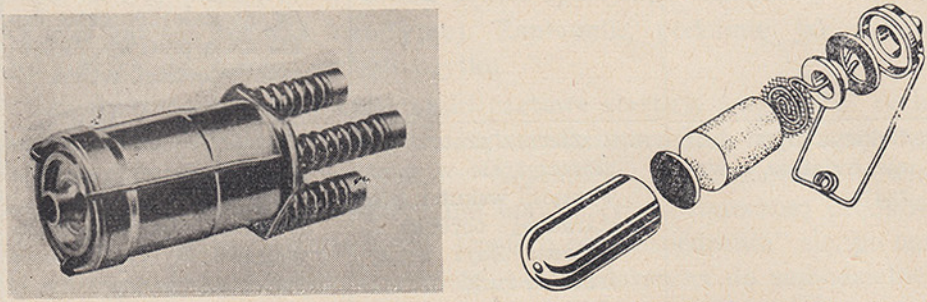
Objawy	Przyczyny	Sposób usuwania
3. Zapłonnik nie zapala się mimo połączenia przewodów z baterią	3. Przerwa w przewodach elektrycznych. Zapłonnik zakleszczony został w ładunku paliwa	3. Sprawdzić żarzenie drutu oporowego na mniejszym odcinku. Ew. wymienić drut. Sprawdzić przewody na całej długości czy nie mają przerwy. Zwiększyć przestrzeń wokół zapłonnika
4. Rakieta dymi lecz nie wzlatuje z wyrzutni	4. Statecznik prętowy zakleszczył się w rurce wyrzutni wskutek niestarannej obróbki drewna. Zbyt mała średnica rurki wyrzutni	4. Powtórnie obrobić statecznik aby miał jak najgładszą powierzchnię. Zwiększyć średnicę rurki wyrzutni. Wyprostować statecznik prętowy
5. Rakieta spala swój ładunek na ziemi nie wzlatując	5. Zbyt duży ciężar rakiety. Za mały ciąg silnika za duży otwór dyszy wylotowej	5. Sprawdzić budowę rakiety. Dodać paliwa. Zmniejszyć otwór wstawiając nową dyszę. Całą rakietę zastąpić nową
6. Rakieta po starcie została rozerwana	6. Niewłaściwe paliwo. Zbyt mały otwór dyszy wylotowej powodujący jej zatkanie resztkami spalonego ładunku (popiołem)	6. Zmienić rodzaj taśmy filmowej. Powiększyć otwór dyszy do około 1/3 średnicy silnika. Usztywnić kadłub dodatkową warstwą kartonu, wiercąc w nim 2—3 otwory „wentylacyjne"
7. Rakieta nie leci po torze parabolicznym, „holendrując" lub zataczając „kręgi"	7. Skrzywione usterzenie. Niewspółosiowo ustawiony silnik. Rakieta nie wyważona	7. Naprawić skrzywienie lub dać nowe usterzenie. Sprawdzić zamocowanie silnika i wyważenie
8. Rakieta nie stateczna (jak wyżej)	8. Kadłub niesymetrycznie sklejony. Za ciężkie stateczniki, szczególnie jeśli chodzi o dobór pręta. Za krótka wyrzutnia. Za silny wiatr	8. Rakieta wymaga całkowitego przekonstruowania. Startować przy pogodzie bezwietrznej

3. Rakiety z silnikami na paliwo stałe produkcji fabrycznej

W 1947 roku w Wielkiej Brytanii pojawił się mały silnik rakietowy na paliwo stałe (produkt Imperial Chemical Industries). Silnik ten o nazwie fabrycznej „Jetex" (rys. 104-a) stał się wzorem dla szeregu innych, późniejszych konstrukcji tego rodzaju, dzięki prostocie budowy, działania i bezpieczeństwa obsługi. Przeznaczaniem „Jetexa" był i jest napęd

latających modeli samolotów. Poza tym może on być wykorzystany do uproszczonych małych rakiet, choć ciężar silnika jest jeszcze zbyt duży w stosunku do wytwarzanego ciągu.

Silnik typu „Jetex" składa się z metalowej obudowy mieszczącej wewnątrz wymienny ładunek paliwa (rys. 104-b). Ładunkiem jest spra-

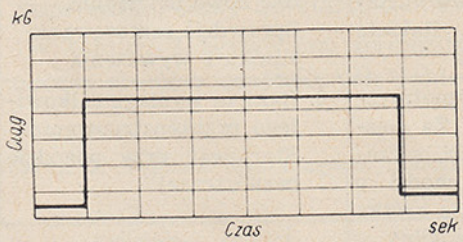


Rys. 104. a) Typowy silnik „Jetex", b) Poszczególne części składowe „Jetexa" nowszego typu — 50B. Od lewej: obudowa metalowa, krążek izolacyjny z azbestu, ładunek paliwa, ruszt ze zwiniętym spiralnie lontem wychodzącym z dyszy wylotowej, pierścienie azbestowe, pokrywa z dyszą wylotową i sprężynującym zaworem

sowana w postaci walca mieszannica [1]) złożona z 20% trójnitrorezorcyny, 79% azotanu gwanidyny i 1% włókien azbestowych.

Poza tym dalszymi częściami silnika są: azbestowa podkładka, ruszt siatkowy, lont (spełniający rolę zapłonnika) bawełniany nasycony substancją palną, do której zasadniczych składników należy: chloran potasu, minia ołowiowa i proszek krzemowy w kolejnych proporcjach: 40, 30 i 20%. Resztę (10%) stanowi substancja wiążąca.

Obudowa silnika zamknięta jest pokrywą zaopatrzoną w kalibrowaną dyszę wylotową. Pokrywa (nie wkręcana) połączona jest z obudową systemem sprężyn, tworzących w przypadku nagłego wzrostu ciśnienia gazów — klapę bezpieczeństwa.



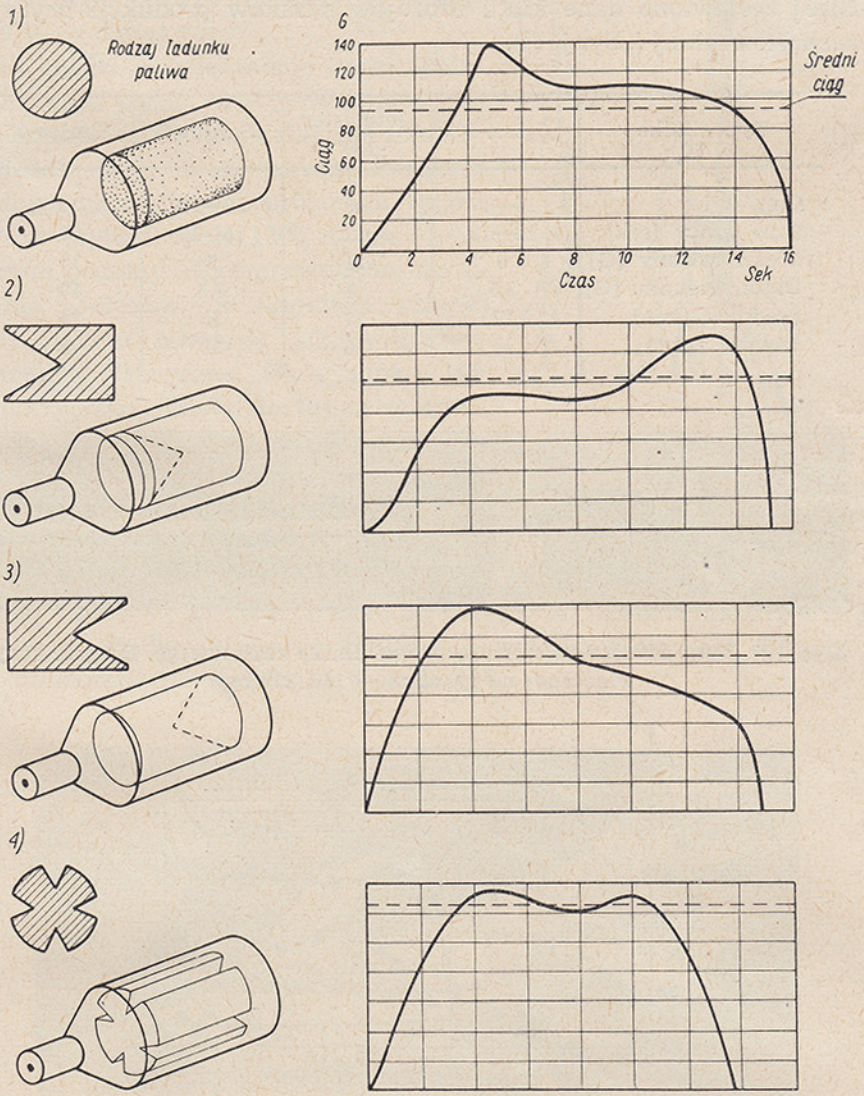
Rys. 105. Idealny wykres pracy silnika rakiety na paliwo stałe

Uruchomienie silnika następuje po bezpośrednim zapaleniu lontu, który z kolei zapala ładunek. Ładunek spala się tylko od strony powierzchni czołowej, wytwarzając odpowiedni ciąg.

Jedną z zalet wspomnianego silnika w porównaniu do opisanych na ładunki celuloidowe jest względnie stały ciąg przy stałym ciśnieniu gazów. Znaczy to, że ładunek paliwa spala się w komorze silnika dość równomiernie. Piszemy „względnie" i „dość", gdyż trudno mówić o idealnie stałym ciśnieniu i ciągu w prymitywnym silniku.

[1]) Wg danych jugosłowiańskich.

Jeślibyśmy chcieli przedstawić graficznie przebieg pracy idealnego silnika rakietowego, a więc zależności ciągu od czasu spalania, wykres miałby postać pokazaną na rys. 105. Na osi pionowej odłożono wartości ciągu w kG, a na osi poziomej wartości czasu w sek. Uzyskanie stałej wartości ciągu jest w praktyce niezmiernie trudne; dotyczy to także ładunków „Jetexa". Dla porównania spójrzmy na podobny wykres wy-

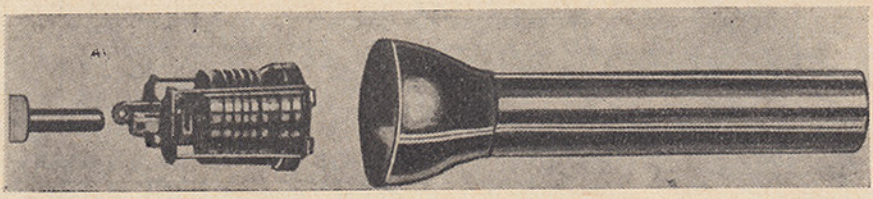


Rys. 106. Wykresy pracy „Jetexów" z różnymi ładunkami: *1)* ładunek o czołowej powierzchni spalania, *2)* ładunek o stożkowej wewnętrznej powierzchni spalania, *3)* ładunek o stożkowej wewnętrznej — przeciwnie skierowanej w stosunku do dyszy — powierzchni spalania, *4)* ładunek o gwiazdowym kształcie. Linią przerywaną na wykresach oznaczono średnią wartość ciągu

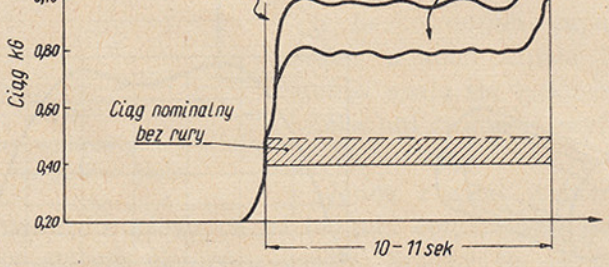
konany dla silnika typu „Jetex-350" z walcowym ładunkiem paliwa (rys. 106-*1*). Linią przerywaną zaznaczono średnią wartość ciągu. O tym, jak zmieniają się wartości ciągu w zależności od kształtu ładunku informuje rysunek 106-*2*, *3*, *4*, gdzie pokazano trzy dalsze warianty powierzchni spalania: stożkową (czołową i tylną) oraz gwiazdową. Przypomnijmy sobie, że podobne układy ładunków próbowaliśmy zastosować posługując się taśmą filmową.

Niżej zestawiono dane kilku rodzajów silników produkcji brytyjskiej i czechosłowackiej („Synjet").

Typ silnika	„Jetex-50"	„Jetmaster -150"	„Synjet-2"	„Synjet-4"
Ciąg [G]	14—17	49	12—15	30
Czas pracy [sek]	12—13	12	15—17	20
Ciężar własny [G]	6	21	7	15
Ciężar ładunku [G]	3,5	8	3,5	10
Średnica [mm]	17	27	20	28
Długość [mm]	45	90	31	42



Rys. 107. Rura-dyfuzor zwiększająca ciąg silnika rakietowego. Długość rury widocznej na rysunku — 150, 250 mm



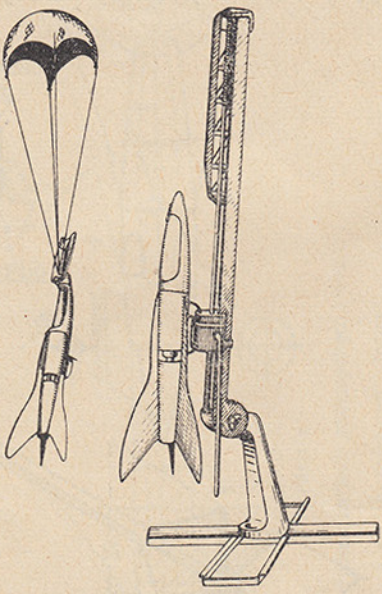
Rys. 108. Przykładowy wzrost ciągu w zależności od rodzaju rury. Przy rurze zbyt długiej ciąg jest mniejszy

Niektóre typy silników osiągają ciąg przekraczający 100 gramów, w innych istnieje możliwość zwiększenia mocy przez: a) dodanie po-

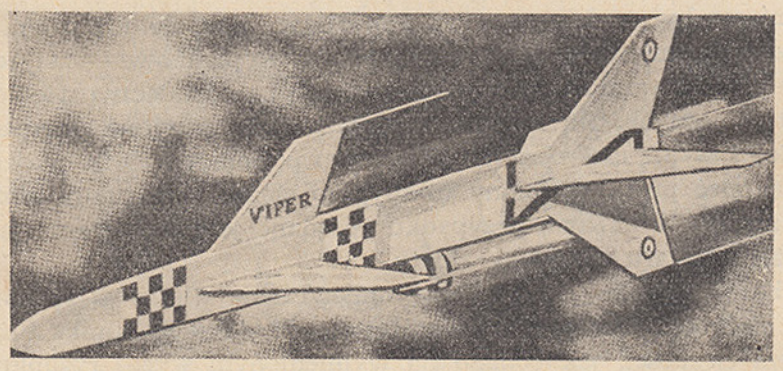
dwójnej porcji ładunku paliwa, b) dodanie 1/3 nowego ładunku w którego czołowej części wycięty jest niewielki stożkowy otwór zwiększający powierzchnię spalania, a zatem i ciśnienie, c) dodanie dyfuzora, rury „wzmacniającej" ciąg (rys. 107). Ostatni z wymienionych sposobów jest najskuteczniejszy (rys. 108), ale niestety trudny do zrealizowania przy rakietach ze względu na duży ciężar rury.

Jeśli chodzi o zwiększenie czasu spalania to trzeba podać, że wymienione wyżej dwie metody (a i b) pozwalają na uzyskanie dodatkowych 2—4 sekund. Prędkość wylotowa gazów z wspomnianych typów silników wynosi około 1200 m/sek.

Zanim podamy kilka przykładów zastosowania „Jetexów" w rakietach własnej roboty, warto zobaczyć jak wyglądają konstrukcje fabryczne. Na rysunku 109 podano typową rakietę startującą ze sprężynowej wyrzutni, a po osiągnięciu maksymalnego pułapu, lądującą na automatycznie otwieranym spadochronie. Pułap rakiety około 45 m. Dane rakiety: długość 340 mm, rozpiętość stateczników 80 mm, ciężar 57 G. Warto zwrócić uwagę, że silnik umieszczony jest bardziej w środkowej części kadłuba, a zakończeniem jest dyfuzor — rura zwiększająca ciąg silnika o około 20%.



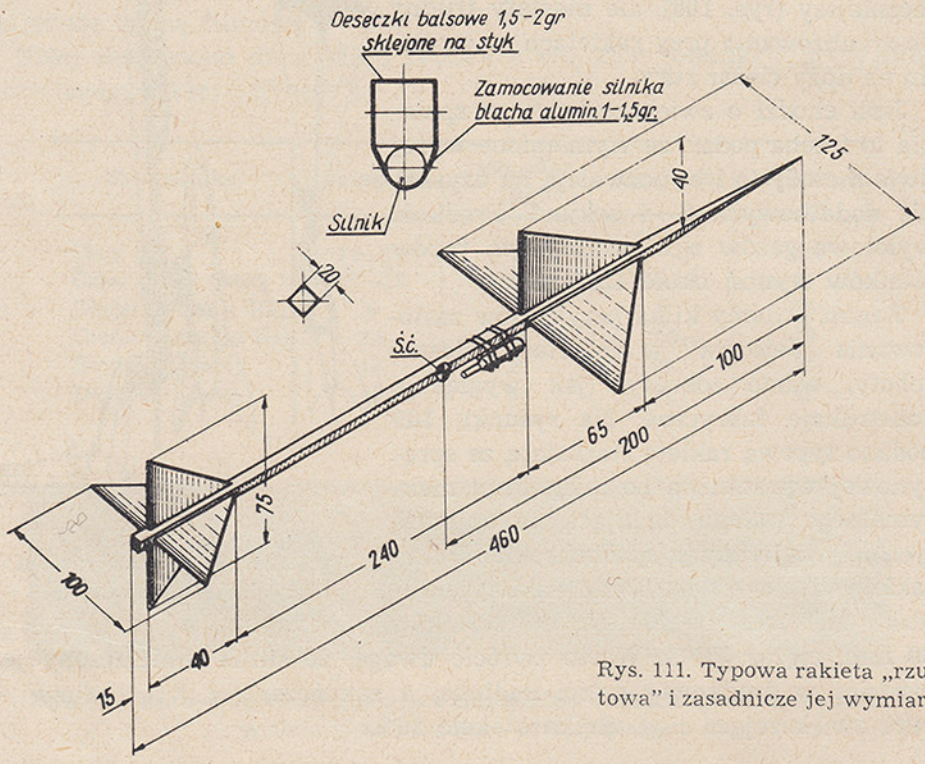
Rys. 109. Fabryczna rakieta z silnikiem „Jetex"



Rys. 110. Sylwetkowa rakieta „rzutowa" z silnikiem „Jetex"

Uskrzydloną, stylizowaną rakietę klasy ziemia-powietrze pokazano na rys. 110 jako jeszcze jeden przykład możliwości wykorzystania „Jetexów". A oto jej dane: długość 430 mm, rozpiętość skrzydeł 130 mm.

Ten rodzaj rakiet najlepiej nadaje się do amatorskiej budowy. W USA noszą one nazwę „rock-a-chute" co w wolnym tłumaczeniu może oznaczać rakietę przeznaczoną do rzucania, inaczej — rakietę rzutową. Orientacyjny szkic i wymiary takiej rakiety podano na rys. 111. Poszczególne

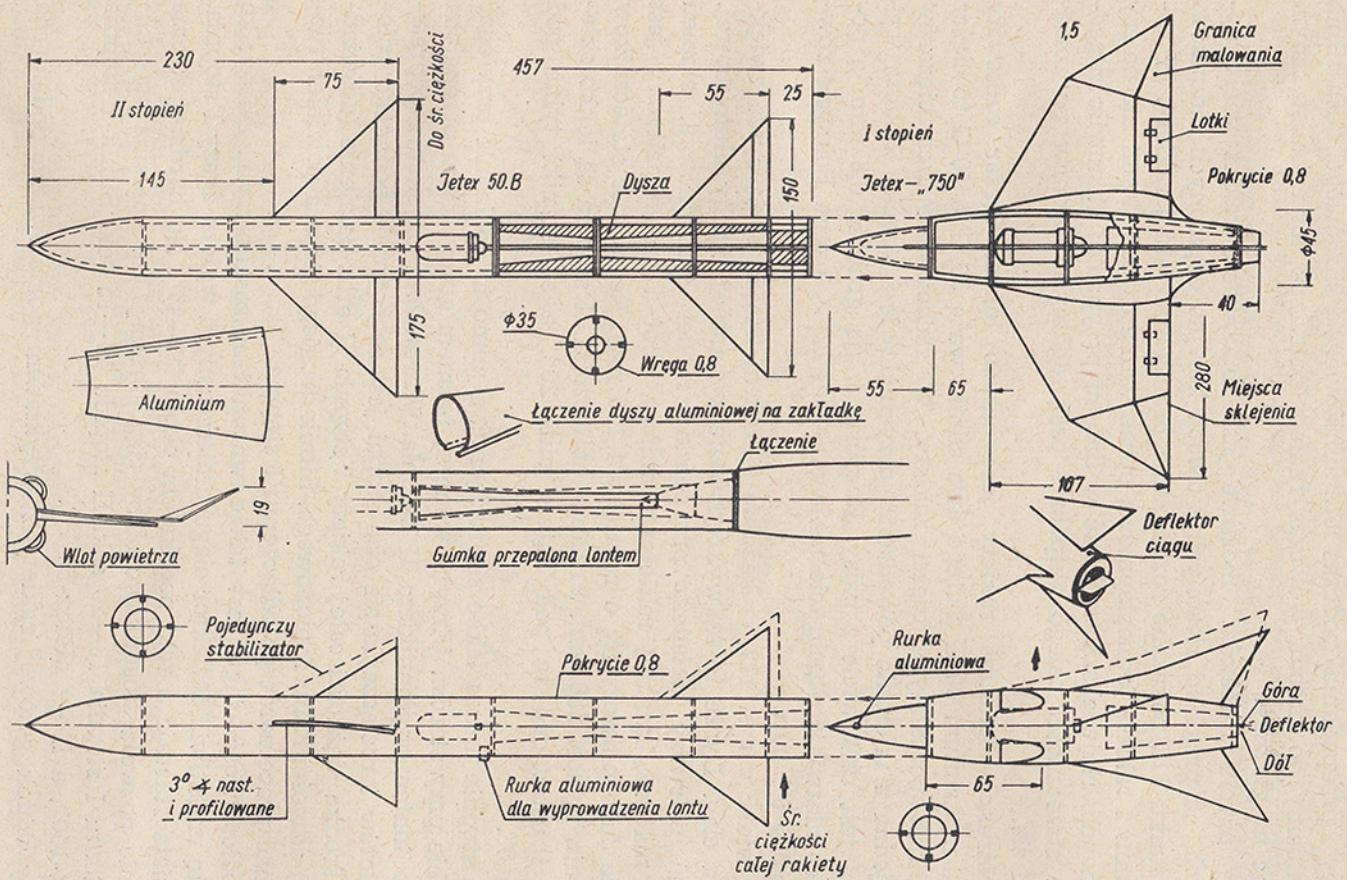


Rys. 111. Typowa rakieta „rzutowa" i zasadnicze jej wymiary

części muszą być wykonane z jak najlżejszego materiału, a zatem w grę wchodzi wyłącznie balsa lub krajowe tworzywo piankowe — „styropian".

Przy projektowaniu trzeba zwrócić uwagę na dostateczną wielkość powierzchni nośnych. Na 1 gram ciężaru modelu powinno przypadać co najmniej 2,8—3,7 cm² płaskich płaszczyzn poziomych. O ile płaszczyzny te mają mieć profil sklepiony (nośny), to ciężar konstrukcji może być o 10% niższy. W każdym przypadku pożądane jest zachowanie jak najmniejszego ciężaru własnego rakiety.

Nie bez znaczenia jest właściwe umieszczenie silnika w stosunku do środka ciężkości. Idealnym położeniem jest zawieszenie silnika tuż przed środkiem ciężkości, jak podano na wymienionym wyżej rysunku. Środek ciężkości przy omawianym układzie znajduje się w odległości 40—45% całkowitej długości licząc od przodu, czyli od głowicy. Przy układzie „kaczki" (tj. wówczas gdy skrzydła umieszczone są z tyłu, a usterzenie poziome z przodu) środek ciężkości przesunie się bardziej do tyłu na około 50% długości kadłuba. Przez przesuwanie silnika (a za-



Strzałkami zaznaczono położenie środków ciężkości poszczególnych stopni.

Rys. 112. Dwustopniowa rakieta z silnikami typu „Jetex"

tem i środka ciężkości) do tyłu można uzyskać poprawienie prędkości opadania, jednak najczęściej prowadzi to do przeciągnięcia (zadzierania głowicy i przepadania) podczas lotu silnikowego i ślizgowego. Jeśli silnik przesuniemy do przodu wówczas rakieta poleci po torze balistycznym lądując na głowicy.

Przy użyciu „Jetexów" możliwe jest zbudowanie rakiet wielostopniowych, na przykład złożonych z dwóch kolejno odpalonych ładunków. Na rysunku 112 pokazano rozwiązanie praktyczne takiej rakiety. W porównaniu z rakietą jednostopniową opracowanie dwóch stopni nie należy do łatwych. Największą trudność w danym przypadku stanowiło zagadnienie stateczności całego zespołu i poszczególnych członów po rozłączeniu się.

Konstrukcja kadłuba rakiety jest bardzo lekka. Ciężar całkowity wynosi maksimum 90 G z czego dwa silniki ważą 50 G, a 40 G to ciężar wszystkich pozostałych części rakiety. W zachowaniu tych ciężarów tkwi jedna z tajemnic powodzenia przy budowie i starcie. Rakieta wykonana jest całkowicie z balsy. Rozpórki mają grubość 0,8 mm, a podłużnice ułatwiające pokrycie mają przekrój 1,5 × 3 mm. Pokrycie również balsa 0,8 mm.

Jak widać z rys. 112 za każdym silnikiem znajduje się dysza zwiększająca ciąg. Dysze te są wykrępowane z cienkiej blachy aluminiowej. Stopień pierwszy układem przypomina model bezogonowca, stopień drugi ma już bardziej rakietowe oblicze, choć i on zaopatrzony jest w dość duże płaszczyzny o rozpiętości 175 mm. Rozpiętość stateczników I stopnia wynosi 280 mm. Przednie stateczniki II stopnia są lekko sklepione i ustawione są pod kątem plus 30°, a stateczniki tylne pod kątem 0°.

Oba stopnie muszą lekko się rozłączać, a mimo to dokładnie przylegać do siebie przy starcie. Utrzymywane są pasmem gumy, która przepalona zostaje lontem-zapłonnikiem II stopnia. Warunkiem uzyskania poprawnych lotów i rozłączania się obu stopni jest zachowanie podanego położenia środka ciężkości całej rakiety i stopnia II oraz ustalenie (doświadczalne) długości lontu zapłonowego. Silnik drugiego stopnia powinien rozpoczynać pracę zaraz po odłączeniu I stopnia.

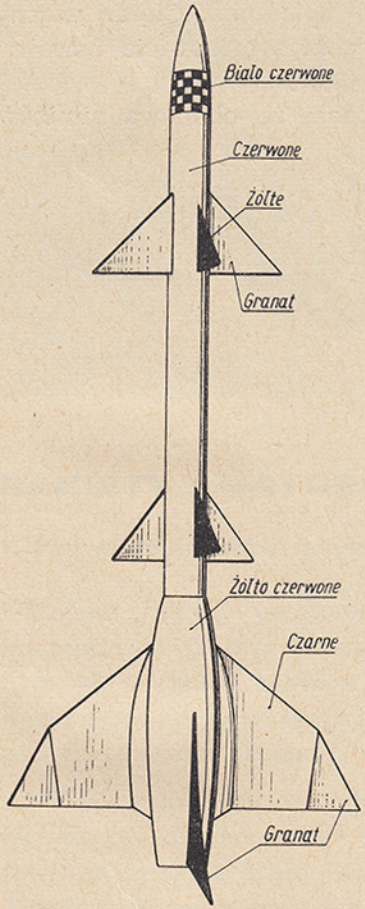
Współosiowość ciągu jest także warunkiem zasadniczym. Niewielką korektę umożliwia deflektor ciągu umieszczony u wylotu dyszy I stopnia.

Rakieta startuje z ręki pod kątem około 30—45°. Na bardziej strome kąty nie pozwala stosunkowo słaby ciąg silnika. Czas spalania się paliwa i lontu I stopnia 18—20 sek, II stopnia 12—15 sek. Silnik I stopnia „Jetex-150", a II — „Jetex-50 B".

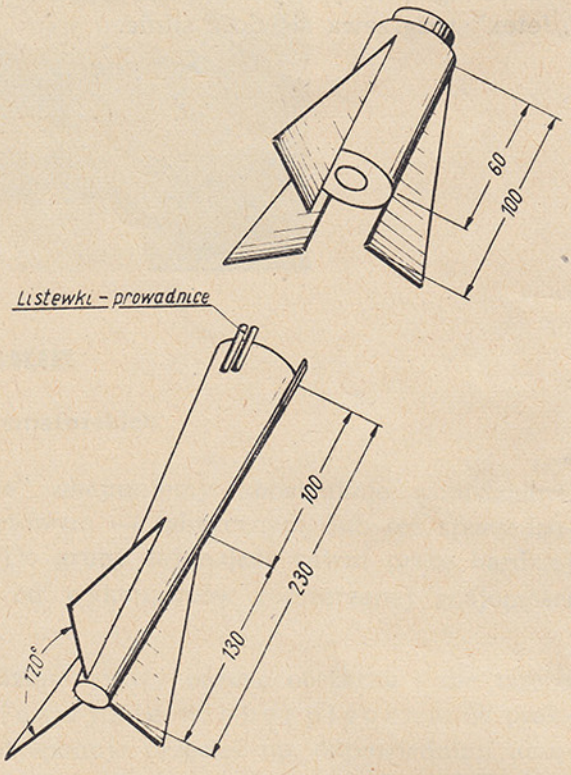
Ogólny widok gotowej rakiety z przykładem pomalowania podano na rys. 113.

Obsługa „Jetexów" polega na załadowaniu paliwa do komory spalania, założeniu i zabezpieczenia sprężyn pokrywy, sprawdzeniu czy otwór

dyszy nie jest zatkany i w końcu — podpaleniu lontu. Od chwili zapalenia lontu do czasu, gdy paliwo rozpocznie się tlić, upływa średnio około 3—4 sekundy, po czym pojawia się strumień białego dymu — sygnał, że silnik normalnie pracuje. Często po zapaleniu lontu silnik na chwilę milknie co spowodowane jest zatkaniem dyszy przez resztki spa-



Rys. 113. Gotowa rakieta dwustopniowa i sposób jej pomalowania

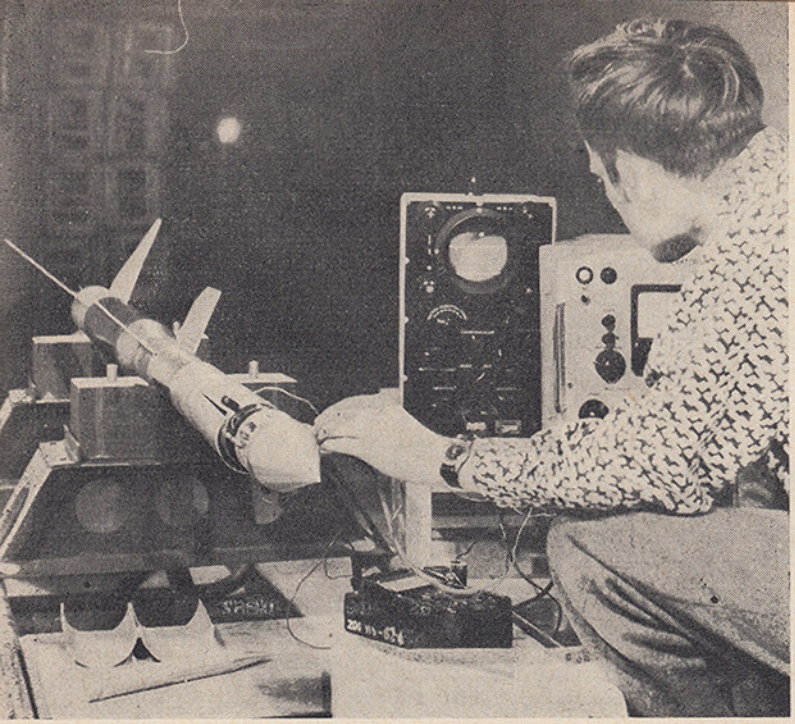


Rys. 114. Inny typ rakiety dwustopniowej: Napęd ma tylko stopień drugi. Całość startuje z wyrzutni gumowej

lonego lontu (lont fabryczny usztywniony jest ponadto cienkim drutem). Wzrastające z każdą sekundą ciśnienie w komorze spalania usuwa szybko przeszkodę-zakrztuszenie i silnik pracuje aż do spalenia się całego ładunku. Moment ten, kiedy następuje zdecydowanie silniejszy pogłos silnika, jest najwłaściwszy do rozpoczęcia startu (wyrzucenia rakiety). Po około 20-krotnym użyciu obudowa silnika musi być dokładnie oczyszczona w ciepłej wodzie przy użyciu małej szczoteczki. Wymienić wówczas trzeba podkładkę azbestową, która z czasem szybko kruszeje.

Dość oryginalnie rozwiązano inny rodzaj dwustopniowej rakiety (rys. 114). Oryginalność polega na tym, że cała rakieta z zapalonym lontem wystrzelona zostaje z ręcznej wyrzutni gumowej. I stopień nie ma własnego napędu, leci on wspólnie ze stopniem II do czasu, kiedy zacznie palić się ładunek w silniku II stopnia. I stopień opada, a II rozpoczyna wówczas lot silnikowy. Odpowiedni czas zapłonu uzyskuje się dzięki odpowiednio dobranej długości lontu-zapłonnika. Ciężar własny rakiety (bez ładunku paliwa) 28 G. Konstrukcja całkowicie balsowa. Kadłub rurowy sklejony z deseczki grubości 0,8 mm.

Z uwag praktycznych można jeszcze dodać, że obudowa silników „Jetex" rozgrzewa się dość silnie.



ROZDZIAŁ V

RAKIETY AMATORSKIE

1. Paliwa do silników rakiet amatorskich

Mianem „rakiety amatorskie" obejmujemy konstrukcje samodzielne, pracujące na paliwie standartowym — fabrycznym, lub też sporządzonym we własnym zakresie. Do grupy tej należą zatem prace bardziej zaawansowane, wymagające od wykonawców rozszerzonej znajomości różnych dziedzin techniki.

Paliwa rakietowe, to dziedzina wiedzy bardzo obszerna i nie trzeba ukrywać — dla amatorów n i e z w y k l e n i e b e z p i e c z n a. W praktyce amatorskiej, która nie dysponuje przecież np. odpowiednimi urządzeniami technicznymi, nie ma mowy o wykorzystaniu do napędu małych rakiet środków stosowanych w rakietnictwie wielkim. Dlatego też wykluczone jest użycie paliw płynnych w jakiejkolwiek postaci. Z paliw stałych zaś dopuszczalne mogą być wyłącznie takie, które dają najmniejsze prawdopodobieństwo spowodowania wybuchu, a zatem wypadku.

„Dzicy amatorzy" rakietnictwa sięgają nieraz po różne materiały wybuchowe, takie jak np. proch czarny lub inne mieszaniny, którymi napełnione są pociski wojskowe narażając przez to siebie i otoczenie na ciężkie kalectwo, a nawet śmierć. Zastosowanie prochu jest oczywiście możliwe, ale wyłącznie w rękach specjalisty-pirotechnika. Mimo więc świadomości, że proch należy do najstarszych paliw rakietowych, musimy

z niego zdecydowanie zrezygnować posługując się jedynie mieszanką prymitywną.

Ulubionym, rzec można, paliwem innych „amatorów" są główki zapałek, wypróbowane wielokrotnie przy tak zwanym „strzelaniu z klucza". Nie wszystkim wiadomo ile takie strzelanie spowodowało okaleczeń rąk i głów. Tylko trzy główki zapałczane uderzone w przestrzeni zamkniętej np. rurowej wybuchają z siłą zdolną skruszyć szybę i naruszyć tynk budynku. Sto gramów tych główek „lekko" urywa całą rękę lub dłoń i to przy nieznacznym tylko poruszeniu zbiornika wypełnionego tym bardzo niebezpiecznym „paliwem".

Zapałki pozostawiamy zatem zgodnie z ich przeznaczeniem wyłącznie do zapalania lontu przy prymitywnych modelach rakiet. Nie próbujmy nawet wyjmować je z kieszeni przy starcie rakiet z silnikami na paliwo stałe.

Oprócz wspomnianych środków stosowana jest nieraz mieszanina azotanu potasowego saletry (KNO_3) — 60% z miałkim cukrem pudrem — 40% wagowo zwana „paliwem karmelkowym". Niewinne to na pozór paliwo jest co prawda w stanie wyrzucić małą ok. 300 mm długości rakietę na wysokość rzędu 300 m, ale sposób przygotowania paliwa stanowi duże niebezpieczeństwo dla niezaawansowanych pirotechników. Trudność polega na tym, że o ile mieszanie obu składników odbywa się przy dość wysokiej temperaturze, każde przegrzanie, jak również mieszanie, grozi wybuchem. Poza tym źle zmielone i zmieszane składniki pękają po wysuszeniu tworząc szczeliny powietrzne. Przy zapłonie tak spreparowanego paliwa powodują one raptowne i niekontrolowane zwiększenie ciśnienia w komorze spalania silnika, tak że ulega on rozerwaniu. Użycie wspomnianych składników w stanie sproszkowanym eliminuje niebezpieczeństwo wybuchu, tym niemniej wymaga starannej obsługi gdyż cukier zatyka dysze silnikowe powodując często pęknięcie ścianek.

Na wielkiej liście paliw stałych trudno by amatorowi znaleźć absolutnie bezpieczne i jednocześnie zapewniające dostateczne wartości energetyczne. Nie trzeba zatem czynić w tym kierunku poszukiwań ani tym bardziej eksperymentów, bo uczynili to już za nas specjaliści. Określono właściwie tylko jedno jedyne paliwo jako możliwe do amatorskiego zastosowania, a mianowicie kompozycję cynku z siarką [1]) w postaci drobno zmielonego proszku. Nie jest to paliwo idealne, ale w chwili obecnej najlepsze i w zależności od przygotowania może być nawet uznane za paliwo wyczynowe, o czym zresztą będzie mowa niżej.

Mieszanka pyłu cynku stosowana jest szeroko w Ameryce Północnej przez liczne kluby rakietowe. I jest właściwie jedynym paliwem dopuszczonym „urzędowo" ze względów bezpieczeństwa. Właściwie przygoto-

[1]) Doświadczenia z tym paliwem dokonano po setkach prób w Szkole Artylerii i Pocisków Rakietowych w Fort Sill, Oklahoma — USA.

wane nie wybucha niespodziewanie ani w komorze silnika, ani przy transporcie. Paliwo to jest w stanie, zgodnie z opinią amerykańskich specjalistów, umożliwić wyrzucenie rakiety wyczynowej na wysokość do 30 000 m. W praktyce 98% amatorów w USA na tym paliwie uzyskuje wysokość 900—1000 m.

Sproszkowana mieszanina cynku z siarką tworzy związek chemiczny — siarczek cynkowy. Godne uwagi są niektóre właściwości tego paliwa występujące w zależności od proporcji zmieszania. Otóż impuls właściwy zawiera się w granicach od około 20 do 150 sek, a prędkość spalania ładunku od około 0,355 m/sek do 6,366 m/sek [1]). „Sprawność" paliwa zależy od wielu zmiennych czynników, takich jak np. konstrukcja silnika, szczególnie dyszy, a nawet wilgotności i temperatury powietrza atmosferycznego, nie mówiąc już o innych.

Czy wobec takiego stanu rzeczy, zapyta czytelnik, istnieje możliwość znalezienia optymalnych właściwości wspomnianego paliwa, i to w warunkach amatorskich? Praktyka wykazuje, że można to paliwo stosować w różnych proporcjach zmieszania i co ciekawe i godne podkreślenia nie istnieje tu jakaś niebezpieczna granica o ile oczywiście nie użyjemy wielu kilogramów od razu.

Stosowano zatem w praktyce takie proporcje jak: 1 część wagowa cynku i 1 część siarki 1 : 1, nie rzadko używano proporcji 8 : 1, 1 : 3 itp. i zawsze uzyskiwano pomyślny start mimo że osiągi nie należały do optymalnych.

O różnym czasie spalania paliwa świadczą przykłady [1]) doświadczeń prowadzonych w Kalifornii w latach 1959—60. Rakieta wypełniona omawianym paliwem, o długości 300 mm, podczas pracy na stoisku doświadczalnym (tzw. hamowni) działała przez 7 sek. Inna rakieta o długości całkowitej 4200 mm z komorą spalania o długości 3600 mm i średnicy 76 mm, a więc rakieta znacznie przekraczająca rozmiary „amatorskie" miała czas pracy silnika wynoszący 0,5 sek.

Na podstawie zebranych doświadczeń niezłe wyniki uzyskać można o ile mieszanina cynku i siarki zostanie sprasowana, tworząc ładunek w formie walca opakowany papierową tutką. Sposób ten jednak jest dość trudny do zrealizowania w warunkach amatorskich i jak dotąd brak konkretnych danych liczbowych odnośnie właściwości tak spreparowanego paliwa.

Jeśli chodzi o paliwo w formie sproszkowanej, to istnieją opublikowane już jego właściwości [2]). Mogą one służyć jako punkt wyjściowy, podają bowiem proporcje optymalne. Próby przeprowadzane z mieszaniną cynku i siarki dokonywano w następującej proporcji wagowej: 2,04 części cynku do 1 część siarki.

[1]) Wg doświadczeń amerykańskich

[2]) Wg doświadczeń w Fort Sill-Oklahoma, USA.

A oto wyniki pomiarów:
— prędkość spalania 2,28 m/sek,
— prędkość wylotowa gazów — 480 m/sek,
— temperatura płomienia — 1426°C (2600 °F),
— impuls właściwy — 46 sek,
— gęstość — 8,07 G/cm³.

Mieszaninę cynku z siarką łatwo zapala się zapłonnikiem elektrycznym. Jest ona odporna na uderzenia, stąd też daje się „ugniatać" nawet elektrycznym wibratorem (działającym na ścianki komory spalania) aby osiągnąć jak najlepszą ściśliwość drobin obu składników.

Pył mieszaniny unosząc się w powietrzu, powoduje podrażnienie śluzówki nosa i oczu. Stąd konieczne staje się posługiwanie maseczką pyło-

Rys. 115. Napełnianie rakiety sproszkowaną mieszaniną siarki i cynku. Widoczne jest zabezpieczenie twarzy osłoną z przezroczystego tworzywa, a rąk rękawicami azbestowymi. Proszek zsypywany jest z papierowego naczynia bezpośrednio przez otwór w dyszy wylotowej

chłonną (respiratorem) przy nasypywaniu proszku. Trzeba zwrócić uwagę, że podobnie jak wszystkie pyły metaliczne, cynkowy również ma tendencję do samozapłonu po zetknięciu się z powietrzem w pewnych warunkach termicznych. Stąd nakazana ostrożność przy przenoszeniu pyłu w większych ilościach. (Rys. 115).

Mieszanie powinno odbywać się w naczyniach drewnianych, a nie metalowych, które wprawia się w ruch obrotowy podobnie jak to czynią robotnicy mieszający cement. Zalecaną proporcję wagową 2,04 : 1 łatwo obliczyć znając ciężar atomowy obu składników.

Ciężar atomowy cynku (Zn) wynosi 65,38, a siarki (S) 32,07. Przez reakcję w komorze spalania połączone 1 atom cynku i 1 atom siarki dają siarczek cynkowy Zn + S = ZnS. Znając ciężary atomowe paliwa (Zn) i utleniacza, którego rolę pełni siarka (S) obliczamy całkowity ciężar atomowy mieszaniny:

$$\frac{\text{Cynk}}{1 \cdot 65{,}38} + \frac{\text{Siarka}}{1 \cdot 32{,}07} = 97{,}45$$

Dla znalezienia procentowego składu obu proszków dzielimy ciężar atomowy poszczególnych składników przez całkowity ciężar atomowy i wówczas znajdujemy:

$$\text{cynk} = \frac{65{,}38}{97{,}45} = 67\%$$

$$\text{siarka} = \frac{32{,}07}{97{,}45} = 33\%$$

Wyrażając innymi słowami wynik ten oznacza, że chcąc uzyskać np. 1 kG paliwa należy zmieszać 0,67 kG cynku i 0,33 kG siarki.

Dla ustalenia całkowitej ilości paliwa trzeba znać objętość komory spalania. Najczęściej komora ma kształt walca, a wówczas objętość (V) wyniesie: $V = \pi dh$.

Załóżmy, że wysokość komory h wynosi 15 cm, a średnica d 2,5 cm, wówczas:

$$V = 3{,}14 \cdot 2{,}5 \cdot 15 = 117{,}7 \text{ cm}^3$$

Jeśli komora ma zmienną objętość można wlać do niej wodę, mierząc następnie jej ilość w szklanej menzurce.

Obliczmy obecnie jaka zmieści się ilość paliwa do podanej komory wiedząc, że gęstość jego wynosi około 8,07 G/cm^3:

$$117{,}7 \text{ [cm}^3\text{]} \cdot 8{,}07 \text{ [G/cm}^3\text{]} = 949{,}8 \text{ [G]}$$

Ilość cynku wyniesie:

$$949{,}8 \cdot 0{,}67 = 636{,}4 \text{ G},$$

a siarki:

$$949{,}8 \cdot 0{,}33 = 313{,}4 \text{ G}.$$

Załadowanie rakiety omawianym paliwem musi być przeprowadzane na otwartej przestrzeni lub w dobrze wentylowanym pomieszczeniu. Proszek wsypuje się do komory drewnianą łyżką. Aby drobiny jego jak najściślej się układały w komorze trzeba nią poruszać, uderzać drewnianym młotkiem albo stosować elektryczny bądź mechaniczny wibrator (np. od masażu ciała). Wibrator przykłada się do ścianki komory (podkładając np. kawałek plastyku, aby nie uszkodzić ścianki) za każdym wsypaniem nowej porcji proszku. Zrozumiałe jest, że przy ładunku rakiety paliwem obowiązuje jak najdalej idąca ostrożność (o przestrzeganiu bezpieczeństwa patrz rozdział VI-5).

Jak już wspomniano, istnieje możliwość fabrycznej produkcji ładunków złożonych ze sprasowanego w formie walca cynku i siarki. Dotychczasowe próby z ładunkami tego rodzaju (o składzie 85% cynku i 15% siarki) wykazały impuls właściwy od 20 sek do 100 sek. Jedna z grup zaawansowanych studentów-rakietników w stanie Colorado — USA, podając wyniki swych wszechstronnych doświadczeń z prasowanymi ładunkami, określa ich impuls na 125—150 sek. Rakieta o długości 500 mm osiągnęła wysokość 3000 m, podczas gdy wypełniona luźnym proszkiem wzniosła się na wysokość 450 m.

Silnik jednej z rakiet doświadczalnych o długości 500 mm i średnicy 50 mm dawał ciąg rzędu 200 kG. Czas pracy 0,7 sek.

Przykłady powyższe podano, aby jeszcze raz podkreślić, jak różne wyniki można osiągnąć tym samym paliwem, ale przy różnych proporcjach i sposobie przygotowania.

W praktyce amatorskiej najwygodniejsze oczywiście są gotowe — standartowe ładunki paliwa. Dlatego też w wielu krajach dopuszczalne jest wyłącznie użycie paliw standartowych i to w kilku wersjach. Na przykład w NRF dopuszczone są 4 rodzaje ładunków (o nie znanym bliżej składzie), z których dwa najmniejsze o małym ciągu dostarczane są członkom towarzystwa rakietowego DRG, a większe mogą być używane jedynie w obecności dyplomowanego pirotechnika i wyłącznie na specjalnym poligonie.

Oto dane standartowych ładunków niemieckich:

Typ I —	ciężar	15 G,	czas spalania	3	sek,	ciąg	0,240	kG
„ II —	„	40 G,	„	„ 4	„	„	1,0	kG
„ III —	„	220 G,	„	„ 0,5	„	„	12	kG
„ IV —	„	550 G,	„	„ 0,6	„	„	22	kG

Ładunki I — II umieszczone są w rurce kartonowej, a III — IV w stalowej.

Dla paliw podobnych do mieszaniny cynku i siarki, tj. o temperaturze spalania rzędu 1300°C i prędkości spalania około 250 cm/sek stosuje się metalowe dysze wylotowe. Dla orientacji można podać zasadnicze proporcje takiej dyszy [1]) sięgając do praktyki amerykańskich rakietników.

a. Średnica przewężenia równa się 1/3 średnicy wewnętrznej komory spalania.

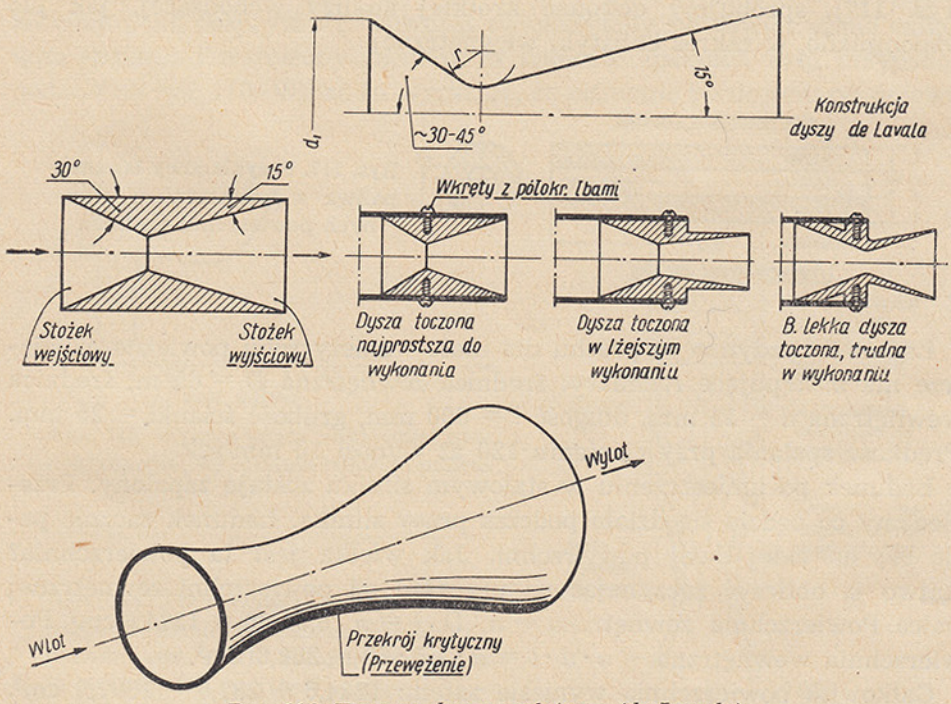
b. Minimalny kąt stożka dyszy wejściowej 30°, a dyszy wyjściowej 15° (patrz rys. 116).

c. Powierzchnia przekroju poprzecznego dyszy wyjściowej powinna być 7—8 razy większa od powierzchni przekroju — przewężenia. Innymi słowami: stosunek powierzchni wyjściowej do powierzchni przewężenia ma się jak 7 : 1 lub 8 : 1.

[1]) zwanej również dyszą de Lavala.

d. Jeśli używane jest paliwo w postaci sproszkowanej lub ładunku z wydrążoną wewnętrzną powierzchnią spalania, to wówczas maksymalny przekrój wydrążenia ładunku (u wylotu) powinien wynosić 1/3 powierzchni przewężenia dyszy silnika.

Dysza może być wykonana również z ognioodpornych kompozycji ceramicznych [1]). Oczywiście podane wyżej proporcje nie wystarczają do zaprojektowania silnika, trzeba sięgnąć do rachunku wyższego stopnia.



Rys. 116. Typowa dysza wylotowa (de Lavala)

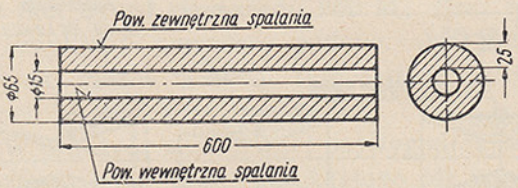
Zainteresowany czytelnik zapragnie zapytać zapewne, czy możliwe jest wykonanie takiego silnika? Otóż trzeba odpowiedzieć raczej przecząco, jeśli chodzi o możliwości przeciętnego amatora, gdyż w grę wchodzi nie tylko sprawa właściwego obliczenia wytrzymałości poszczególnych materiałów (to nie jest trudne!), co sprawa doboru odpowiednich materiałów, szczególnie stali. A wiedzieć trzeba, że na przykład komora spalania, która tworzy jednocześnie kadłub rakiety, musi wytrzymywać co najmniej 15-krotną wartość ciśnienia ponad to, które uzyskano z obliczeń (potwierdzonych dodatkowo próbami statycznymi na hamowni).

A zatem dla młodego konstruktora użycie metali przy budowie rakiet jest niewskazane, gdyż zwiększa możliwość wypadku. Możliwe będzie natomiast tam, gdzie istnieją warunki starannego doboru materiałów

[1]) Nie wykluczone jest użycie tworzyw sztucznych i papieru. Oczywiście przy małych ilościach paliwa.

i ich kontroli, a zatem w zorganizowanym zespole rakietników kierowanym przez specjalistów-inżynierów. Nasze przepisy zawodów rakiet amatorskich dopuszczają co prawda wykonywanie samych tylko dysz z metalu. Można jednak z powodzeniem stosować karton i tworzywa sztuczne.

Dla lepszego zrozumienia procesów zachodzących podczas spalania się ładunku paliwa (na przykład prochowego) w kształcie walca drążonego (rys. 117), spróbujmy dokonać krótkiej analizy wchodzącej, jak już wspomniano, w zakres balistyki wewnętrznej.



Rys. 117. Przykładowy ładunek paliwa z zaznaczeniem czynnych powierzchni spalania

Ładunek bezdymnego prochu dla małej rakiety typu powietrze-powietrze ma następujące rozmiary: średnica zewnętrzna $D = 65$ m, średnica wewnętrzna $d = 15$ mm, długość $l = 600$ mm, grubość ścianki = 25 mm. Prędkość spalania przy ciśnieniu 120 at wynosi 10 mm/sek.

Ładunek po umieszczeniu w stalowym silniku zostaje zapalony. Prześledźmy co będzie się działo podczas pracy silnika. Ładunek zacznie palić się na całej swej powierzchni. Jak wielka jest ta powierzchnia? Łatwo ją obliczyć zaczynając na przykład od powierzchni zewnętrznej walca. Powierzchnia zewnętrzna $= \pi \cdot D \cdot l = \pi \cdot 6{,}5 \cdot 60 = 1224{,}6$ cm². Powierzchnia wewnętrzna $= \pi \cdot d \cdot l = \pi \cdot 1{,}5 \cdot 60 = 282{,}6$ cm².

Całkowita powierzchnia wyniesie zatem: $1224{,}6 + 282{,}6 = 1507{,}2$ cm².

Zastanówmy się obecnie co stanie się z ładunkiem po upływie 1 sekundy, jeśli wiemy, że prędkość spalania wynosi 10 mm/sek. Ścianki w tym okresie czasu zmniejszają się z zewnątrz i wewnątrz o 10 mm. Po sekundzie grubość ścianki walca będzie wynosiła 5 mm. Średnica zewnętrzna zmniejszyła się do 45 mm, a wewnętrzna uległa powiększeniu do 35 mm. Obliczmy teraz całkowitą powierzchnię powtórnie.

Powierzchnia zewnętrzna $= \pi \cdot 4{,}5 \cdot 60 = 847{,}8$ cm², powierzchnia wewnętrzna $= \pi \cdot 3{,}5 \cdot 60 = 659{,}4$ cm². Powierzchnia całkowita wyniesie $847{,}8 + 659{,}4 = 1507{,}2$ cm².

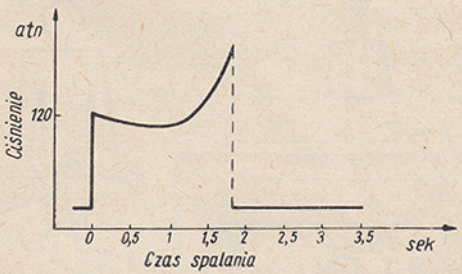
Widzimy, że po 1 sekundzie spalania się ładunku paliwa powierzchnia spalana jest taka sama. Oznacza to, że spalanie przebiega przy jednakowym ciśnieniu, nie zmienia się prędkość spalania i ładunek pali się równomiernie.

Gdybyśmy pokusili się sprawdzać w czasie upływu dalszych sekund całkowitą powierzchnię spalania, byłaby ona zawsze stała, pod warunkiem, że ładunek jest idealnie wykonany bez znacznych szczelin, a nawet

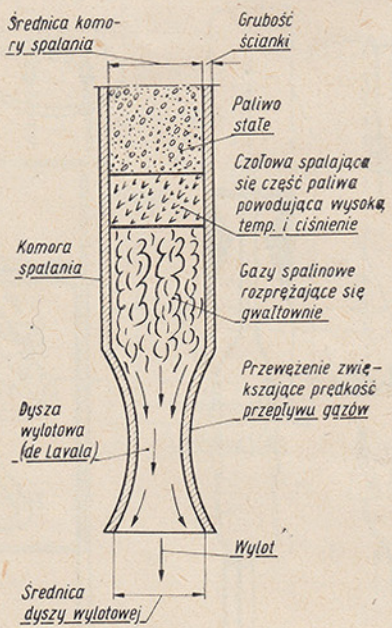
najdrobniejszej rysy. Oczywiście jest to omówienie najbardziej idealnego przypadku spalania w idealnym ładunku.

Jak już wspomniano przy omawianiu „Jetexów", przebieg pracy takiego idealnego ładunku prochowego obrazuje wykres podany na rysunku 105.

Z wykresu widać wyraźnie, że w ciągu całego czasu spalania, wartość ciśnienia jest stała. Gdyby jednak ładunek podczas spalania np. gdziekolwiek pękł, rozprysł się, wówczas zwiększyłaby się powierzchnia całkowita spalania i wzrosłoby ciśnienie w komorze spalania. Taki przypadek podano na rys. 118. Widać tu wyraźnie, że ciśnienie po dojściu do przewi-



Rys. 118. Wykres pracy zakłóconej niedokładnością wykonania ładunku paliwa



Rys. 119. Podstawowe procesy zachodzące w komorze spalania rakiety na paliwo stałe. Warto zwrócić uwagę, na tę część silnika, w której następuje bezpośrednie spalanie się paliwa

dzianego w założeniach zaczyna nagle wahać się (linia falista), następnie silnie wzrasta, aż do rozerwania się komory spalania włącznie.

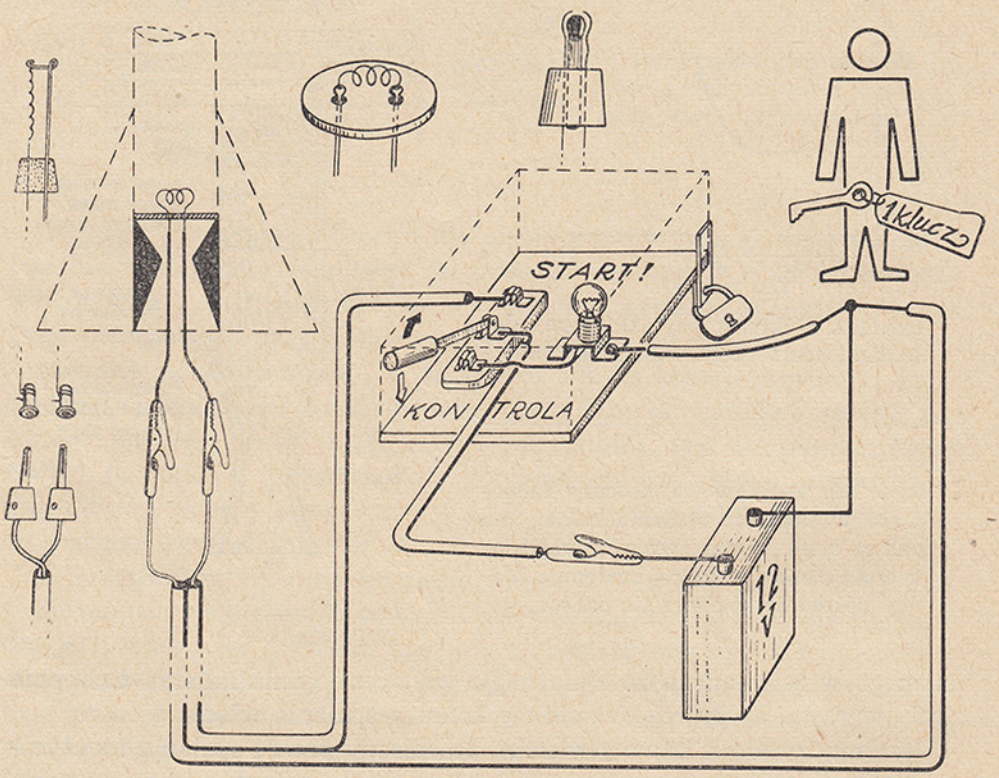
Uważny czytelnik łatwo stwierdzi, że opisany proces spalania identyczny będzie również przy użyciu każdego paliwa stałego, a zatem i tego, które sporządzaliśmy z taśmy filmowej oraz tego od „Jetexów". Tam również mieliśmy do czynienia z ładunkami walcowymi, rurowymi i gwiazdowymi. Różnica polega jedynie na mniejszym ciśnieniu, które wytwarza paliwo celuloidowe. Schematycznie proces spalania paliwa stałego pokazano na rys. 119.

2. Elektryczne urządzenia zapłonowe

Najbezpieczniejszym zapłonem ładunku paliwa w silniku rakiety amatorskiej jest elektryczny zapłon odległościowy (minimum 45—50 m od miejsca startu). Użycie opisanego uprzednio lontu byłoby tu znacznie

trudniejsze i mniej pewne. Natomiast zapłonnik elektryczny, o ile jest prawidłowo wykonany, działa niezawodnie i zapewnia bezpieczeństwo obsłudze rakiety.

Zapłonnik (rys. 120) takiego urządzenia sporządza się najczęściej z odcinka drutu oporowego chromonikielinowego (np. od elementu grzejnego małej lutownicy). Zapłonnik tego rodzaju umieszczony jest na krążku plastykowym (albo tekturowym), który spełnia rolę „rusztu" ułatwiającego osadzenie zapłonnika w komorze spalania, a poza tym zabezpieczającego paliwo od wypadnięcia. Końcówki drutu oporowego przylutowane są do izolowanego grubego przewodu dwużyłowego.



Rys. 120. Najprostsza elektryczna instalacja zapłonowa

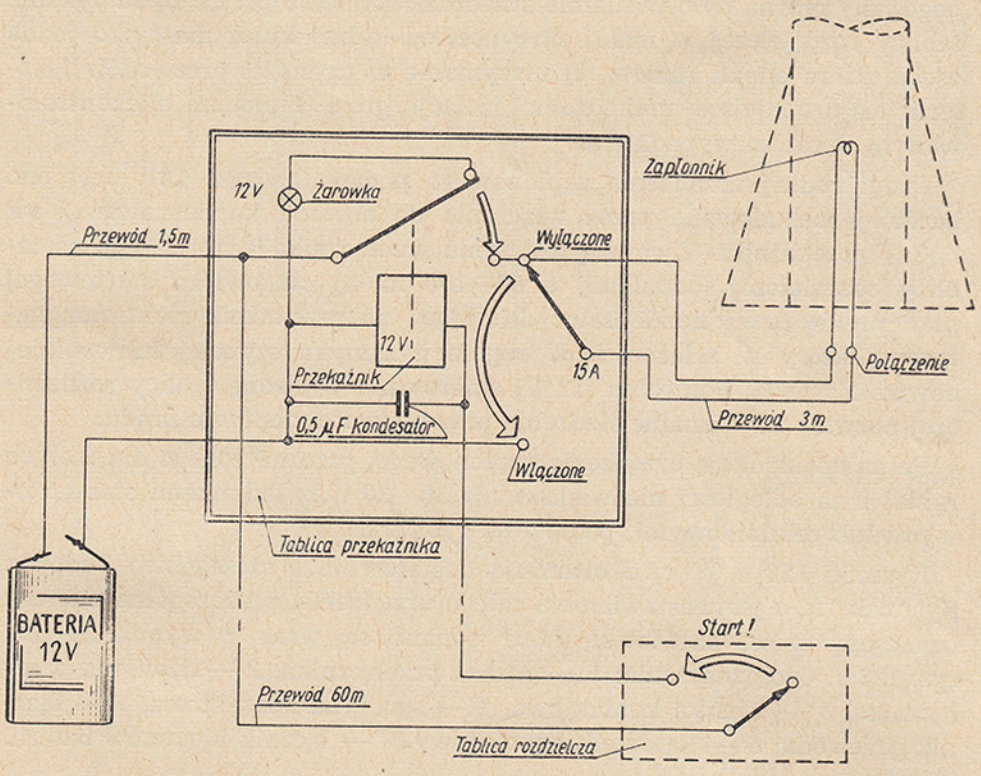
Zapłonnik wsunięty jest bezpośrednio do dyszy wylotowej i dosięga paliwa, albo otoczony jest podsypką z niewielkiej ilości czarnego prochu (w zależności od rodzaju paliwa, aby szybciej osiągnąć zapłon). Najkorzystniejsze umiejscowienie zapłonnika w dyszy de Lavala podano na rys. 120 z lewej strony. Jak widać mieści się on tuż przed wlotem dyszy.

Inny rodzaj zapłonnika zwany „korkowym" składa się z obsady wykonanej z korka, balsy albo gumy, tak aby zatykała ona przewężenie dyszy wylotowej. Sposób budowy jest nieskomplikowany. Drut oporowy zawieszony jest na dwóch miedzianych wspornikach izolowanych igeli-

tem. Do końcówki przylutowany jest gruby przewód biegnący do źródła prądu ogniwa suchego (6—12 albo 24 V).

Im większa odległość dzielić będzie miejsce startu od miejsca skąd następuje włączenie prądu, tym potrzebniejsze jest silniejsze źródło prądu. Średnio do odległości około 7—10 m wystarcza bateria 4,5 V, przy większych do 50 m, potrzebna jest bateria 24 V i oczywiście gruby przewód zasilający.

Najprostszy schemat odległościowego zapłonu pokazano na rys. 120 z prawej strony. Prąd płynie tu od baterii [1]) 12 V do zapłonnika poprzez „tablicę rozdzielczą" gdzie umieszczony jest przełącznik i lampka kontrolna. Połączenie wykonano w ten sposób, że gdy żarówka pali się ozna-



Rys. 121. Schemat instalacji zapłonowej z przekaźnikiem elektromagnetycznym. Źródło zasilania położone jest bliżej miejsca startu, tablica rozdzielcza od 60—100 m od rakiety

cza to, że bateria dostarcza prądu i w każdej chwili można go włączyć do obwodu zapłonnika. Z chwilą przełączenia obwodu w celu startu rakiety — żarówka gaśnie. Przełącznik może być dowolnej konstrukcji,

[1]) gdy nie dysponujemy baterią 12 V można połączyć szeregowo 8 baterii po 1,5 V lub 2 po 6 V.

np. odcinek blachy mosiężnej ślizgający się po wlutowanych końcówkach przewodów. Można posłużyć się również gotowymi przełącznikami trójbiegunowymi. Sama tablica, a jeszcze lepiej skrzyneczka, wykonana jest z płytki gumoidowej lub szkła organicznego grubości około 2—3 mm. Żarówka 12 V (np. choinkowa) wkręcona jest w odpowiednią, standartową oprawkę.

Połączenie przewodów zasilających z przewodami zapłonnika może nastąpić za pomocą małego kontaktu fabrycznego lub też tzw. spinaczy krokodylowych.

Do najważniejszych przykazań zabezpieczających sprawne działanie urządzenia zapłonowego należy: a) włączenie w obwód światła kontrolnego, aby można było wizualnie stwierdzić istnienie prądu, b) zamykanie tablicy rozdzielczej w małej skrzynce, od której klucz ma tylko jedna osoba, która odpali rakietę, c) utrzymanie w czystości przewodów i baterii; najdrobniejsze uszkodzenie izolacji grozi zapłonem niekontrolowanym, a zatem wypadkiem.

Drugi rodzaj urządzenia zapłonowego podano na rys. 121. Jest ono bardziej rozbudowane przez włączenie do obwodu kondensatora 5 μF i 12 V przekaźnika. Z chwilą włączenia przełącznika [1]) startowego na tablicy rozdzielczej (oddalonej o 60—100 m od stanowiska startowego) prąd płynie przez kondensator działający na przekaźnik elektromagnetyczny, który w zależności od regulacji zamyka szybciej lub wolniej obwód. Żarówka kontrolna (12 V) skierowana w stronę tablicy rozdzielczej pozwala na wizualne śledzenie prawidłowości dopływu prądu.

Pełną konstrukcję urządzenia zapłonowego, przeznaczonego dla małych rakiet i na odległości nie większe niż 10—30 m z ładunkami standartowymi lub celuloidowymi, podano na rys. 122.

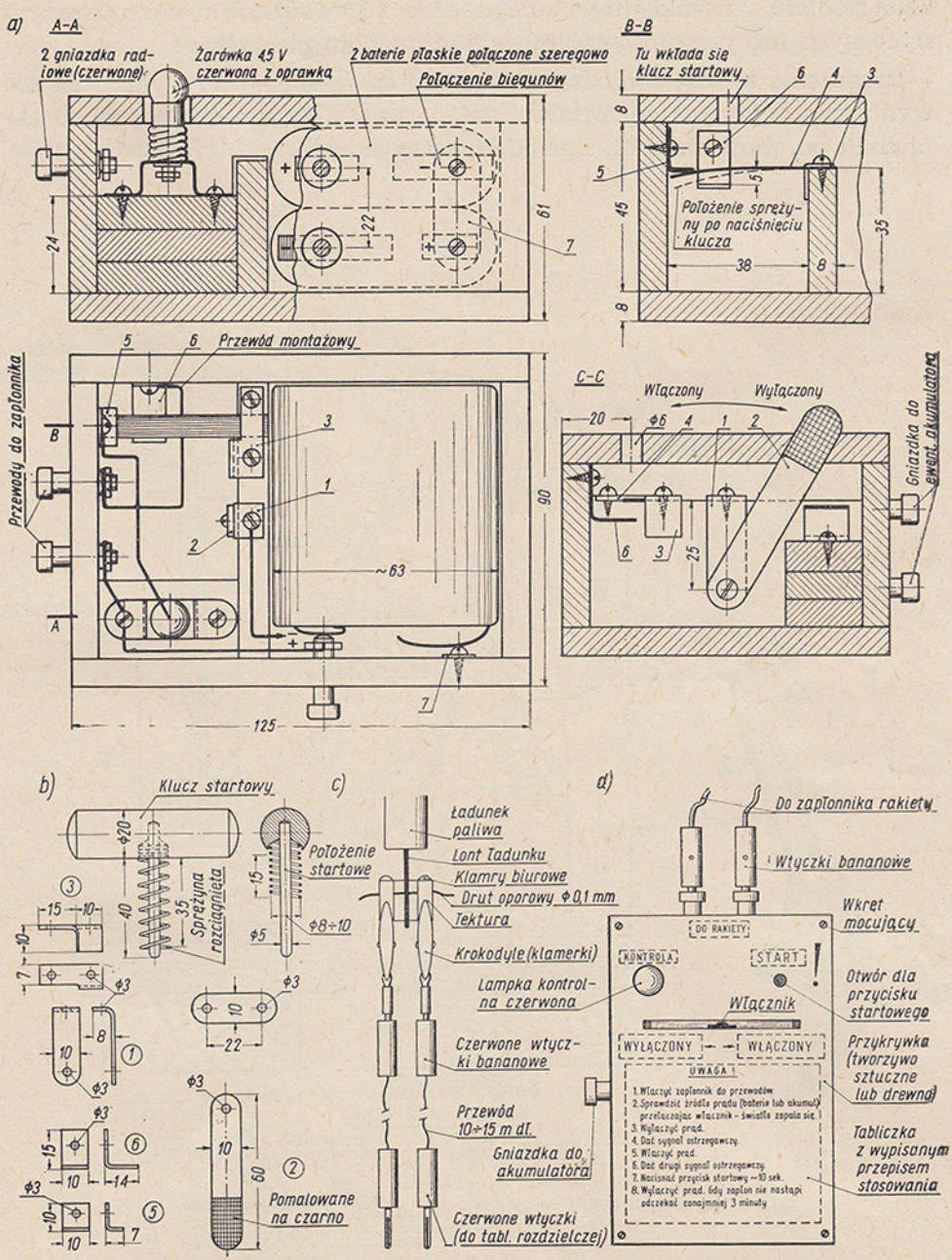
Rysunki 122 *a*, *b*, *c*, *d* orientują dostatecznie o szczegółach budowy. Rysunek 122 *a* jest zestawieniem całego urządzenia, poszczególne numery oznaczają części składowe, które podane są wraz z wymiarami na rys. 122 *b*. Oto oznaczenia: *1* — obsada przełącznika, *2* — dźwignia przełącznika, *3* — blaszka kontaktowa, *4* — sprężyna kontaktowa, *5* — łącznik przewodu, *6* — kątownik kontaktowy, *7* — łącznik biegunów baterii.

Niżej podaję opis działania.

Po przestawieniu włącznika w prawo (patrz rysunek tablicy rozdzielczej) zapala się czerwona żarówka potwierdzająca funkcjonowanie baterii i sprawność obwodu. Sam start odbywa się przez przyciśnięcie „klucza" startowego, który włącza prąd w obwód zapłonnika rakiety. Źródłem zasilania mogą być dwie baterie po 4,5 V lub odpowiedni akumulator, do którego przewidziano osobne gniazdka.

---

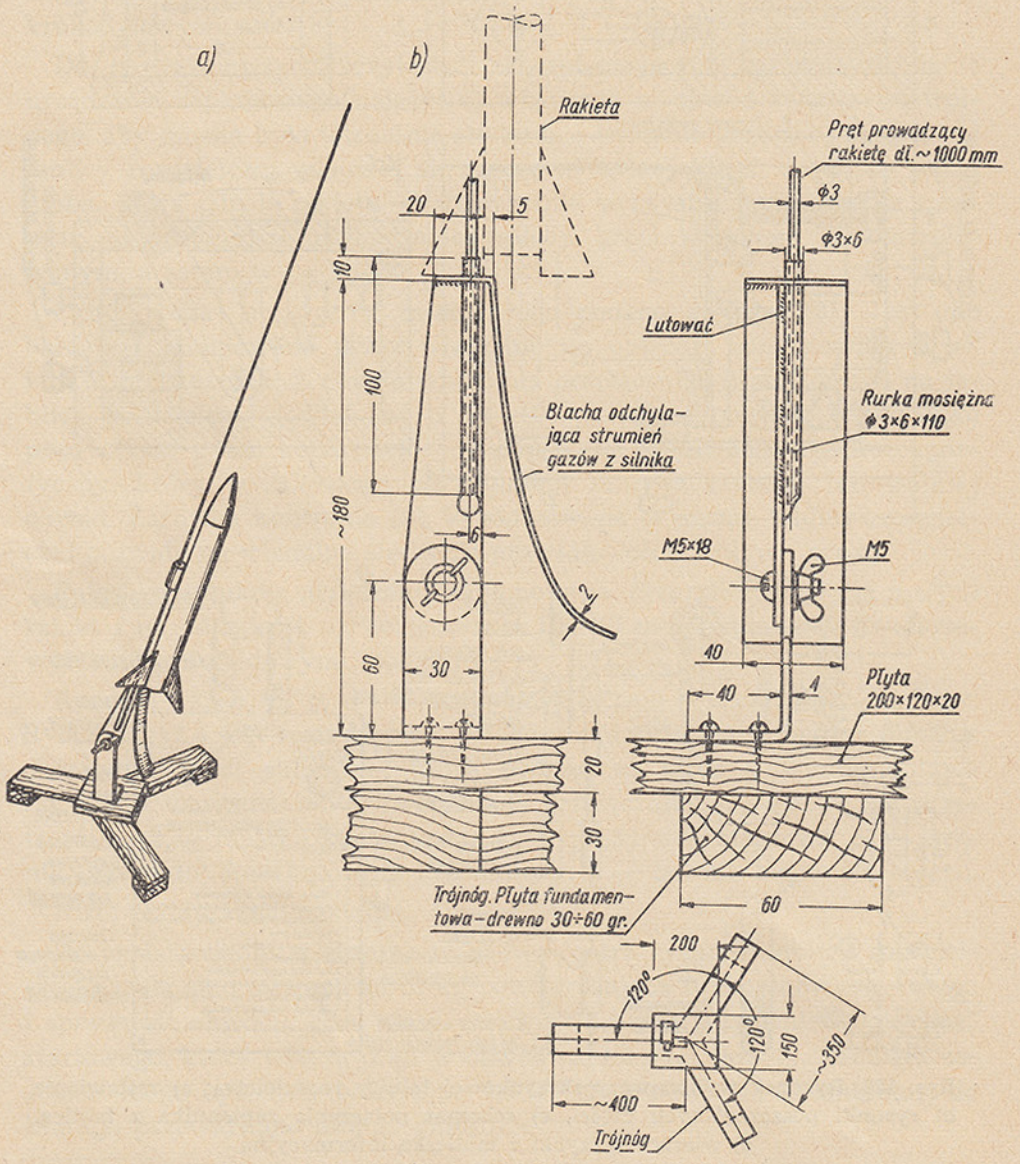
[1]) Przy podłączaniu zapłonnika przełącznik zabezpiecza przed mimowolnym włączeniem prądu, gdyż odcina zupełnie dopływ prądu. Sytuacja podana na rysunku.



Rys. 122. Rysunek wykonawczy skrzynkowej tablicy rozdzielczej: a) zestawienie b) rysunki poszczególnych części, c) schemat połączenia zapłonnika z tablicą, d) wierzch skrzynki z tabliczką informacyjną

Oczywiście taka konstrukcja może być inaczej opracowana. Na przykład zamiast skrzynki drewnianej można z powodzeniem użyć tworzyw sztucznych lub przystosować fabryczne pudełko plastykowe.

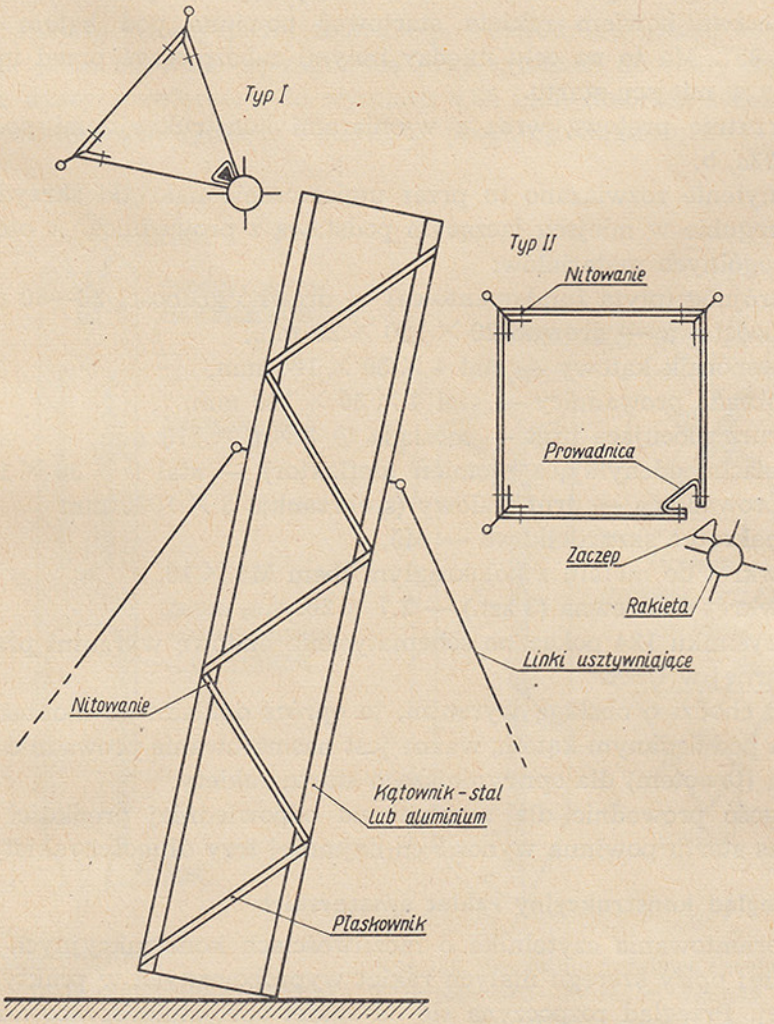
Urządzenie to jest wygodne w użyciu i co ważne — do wykonania nie wymaga specjalnych materiałów ani narzędzi. Na rys. 122c podano zapłonnik odrębny nieco od uprzednio opisywanych.



Rys. 123. Wyrzutnia prętowa: a) widok ogólny wyrzutni, b) rysunek wykonawczy wyrzutni prętowej z regulacją kąta startu

3. Wyrzutnie

W poprzednich rozdziałach przy omawianiu startów prymitywnych rakiet wyszczególniono kilka rodzajów wyrzutni. Obecnie należy uzupełnić podane informacje dla rakiet amatorskich. Zrozumiałe jest, że przy zwiększonym ciągu tego rodzaju rakiet konieczne jest wykonanie wyrzutni o bardziej wytrzymałej konstrukcji.



Rys. 124. Wyrzutnia metalowa kratowa. Prowadnica umieszczona jest w narożu

Najprostszą wyrzutnią z prowadnicą drążkową, podobną do opisanej, będzie pręt stalowy zakotwiczony w płycie cementowej lub drewnianej. Na kadłubie rakiety umieszcza się w tym przypadku dwie kołowe obejmy wchodzące lekko na pręt-prowadnicę. Dalszym rozwinięciem prowad-

nicy prętowej jest rura z przyspawanym wzdłużnie kątownikiem. Obejma przymocowana do rakiety ślizga się po kątowniku, zapewniając dostateczne prowadzenie rakiety.

Oprócz solidnego zakotwiczenia wyrzutni (często przez dodatkowe rozpięcie drutów usztywniających ze ściągaczami) ważne jest aby można było regulować kąt pod jakim powinna zostać wyrzucona rakieta. Stąd też idealna jest wyrzutnia z możliwością pochylania prowadnic. Dla bezpieczeństwa bowiem rakieta startować powinna pod kątem co najmniej 85°. Ma to na celu między innymi zabezpieczyć przed upadkiem rakiety w miejscu startu.

Wyrzutnię prętową wraz z wymiarami konstrukcyjnymi podano na rys. 123*a*, *b*.

Pochylenie rozwiązano tu przez umieszczenie nakrętki skrzydełkowej na przegubie w miejscu łączącym podstawę z prowadnicą. A oto zestaw poszczególnych materiałów:

— trójnóg (płyta fundamentowa) — drewno grubości 30—60 mm,
— podstawa — drewno 20 × 120 × 20 mm,
— wspornik kątowy — stal 4 × 30 × 120 mm,
— obsada prowadnicy — stal 4 × 30 × 140 mm,
— rura mocująca pręt — mosiądz ⌀ 3 × 6 × 110 mm,
— blacha odchylająca płomień (deflektor) — stal 2 × 30 × 180 mm,
— prowadnica — drut stalowy (srebrzanka) 3 × 1000 mm
— nakrętka skrzydełkowa — M5,
— wkręt do metalu z półokrągłym łbem M5 × 18,
— wkręt do drewna (3 szt.) — 2,7 × 20.

Na rysunku 124 pokazano schematycznie budowę wyrzutni przenośnej popularnej w USA.

Jeśli chodzi o obsługę wyrzutni, to oprócz dokładnego montażu, ustawienia pod żądanym kątem, ważne jest nasmarowanie prowadnic smarem stałym (towotem) dla sprawniejszego startu rakiety.

Długość prowadnic dla zapewnienia odpowiedniej prędkości rakiety podczas startu powinna wynosić co najmniej trzy długości rakiety.

4. Przegląd konstrukcyjny rakiet amatorskich

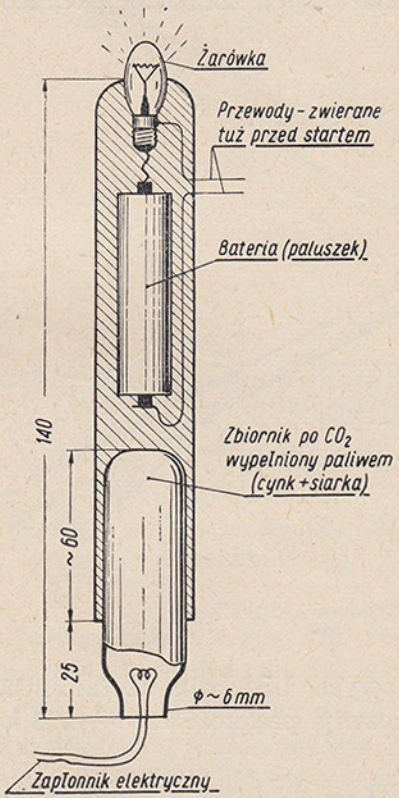
Dla zorientowania czytelnika o możliwościach konstrukcyjnych podajemy niżej opisy szeregu małych rakiet wypróbowanych w praktyce amatorskiej. Przegląd rozpoczyna się od rakiet specjalnie opracowanych na paliwo złożone z cynku i siarki.

Mała rakieta doświadczalna (rys. 125). Rakieta ta o długości całkowitej zaledwie 140 mm opracowana została przez Richland Rocket Society (w Richland stan Waszyngton — USA), a przeznaczeniem jej jest wypróbowanie składu paliwa (ZnS) oraz zapoznanie członków stowarzyszenia rakietników z obsługą, startem i pomiarami toru lotu, szczególnie nocą. Poza tym istnieje możliwość: wypróbowania układu

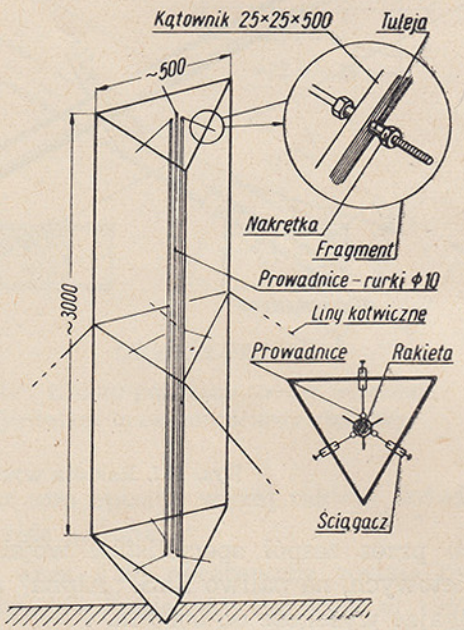
różnych stateczników i sprawdzenie systemu zapłonowego, ćwiczenie fotografowania toru lotu (rakieta wyposażona jest w oświetlenie), sprawdzenia zminiaturyzowanego wyposażenia głowicy, określenia prędkości wiatru — jako sonda przed startem rakiet większych, sygnalizacji — przez wysyłanie barwnych smug dymu.

Konstrukcyjnie rakieta jest niezwykle prosta i co ważne, nie kosztowna.

Silnik rakiety tworzy pusty zbiornik po bezwodniku kwasu węglowego (CO_2), jakie używane są zagranicą przy syfonach do wody sodowej. Średnicę dyszy rozwiercono do wymiaru 6,35 mm. Zbiornik załadowany jest sproszkowanym cynkiem i siarką w proporcji wagowej 2 : 1. Nawet



Rys. 125. Mała rakieta doświadczalna na paliwo ZnS



Rys. 126. Wyrzutnia duralowa specjalnie przystosowana do małej rakiety doświadczalnej

tak mały ładunek (patrz wymiary silnika) jest w stanie wynieść rakietę na wysokość 90—150 metrów.

Zapłonnik elektryczny według opisanego już uprzednio schematu.

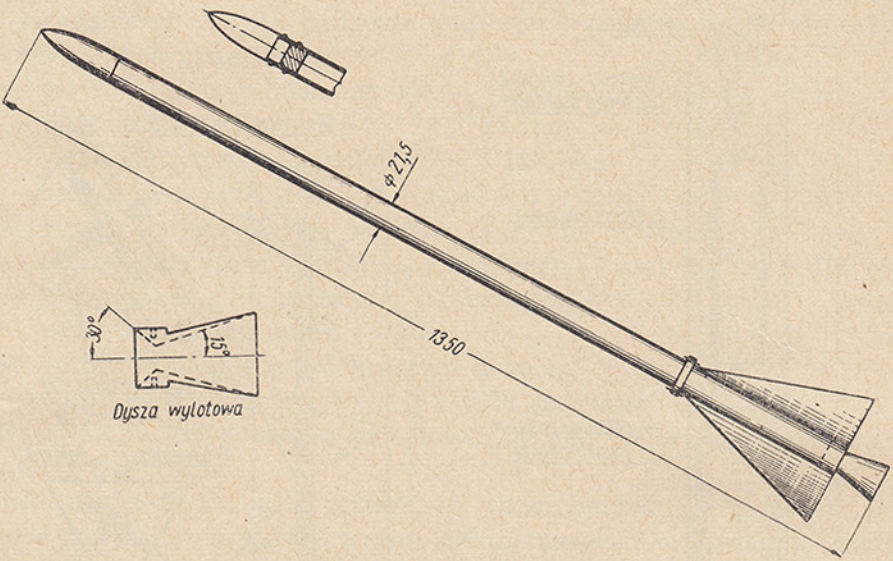
Kadłub rakiety tworzy rurka (w oryginale metalizowany papier od opakowania cygar) sklejona z kilku warstw papieru. Średnica rury 19 mm. W głowicy rakiety mieści się żarówka 1,5 V i mała bateria na 1,5 V.

Przewody kontaktowe wyprowadzone są na zewnątrz kadłuba i dla uproszczenia obsługi zwierane po prostu ze sobą tuż przed startem. Aby bateria nie poruszała się w kadłubie, pusta jego przestrzeń wypełniona została płynnym woskiem (obszar zakreskowany na rysunku). Rakieta startuje z wyrzutni, której szkic podano na rys. 126.

Oczywiście wyposażenie elektryczne może być zastąpione smugaczem przy startach dziennych.

Warto dodać, że rakieta tego typu może pełnić funkcję II stopnia większej rakiety i wówczas odpalana jest wyzwalaczem rtęciowym opisanym w rozdziale VI.

Rakieta wyczynowa „Alpha" (rys. 127). Rakieta ta o długości 1350 mm jest jedną z dwóch standartowych konstrukcji opracowa-



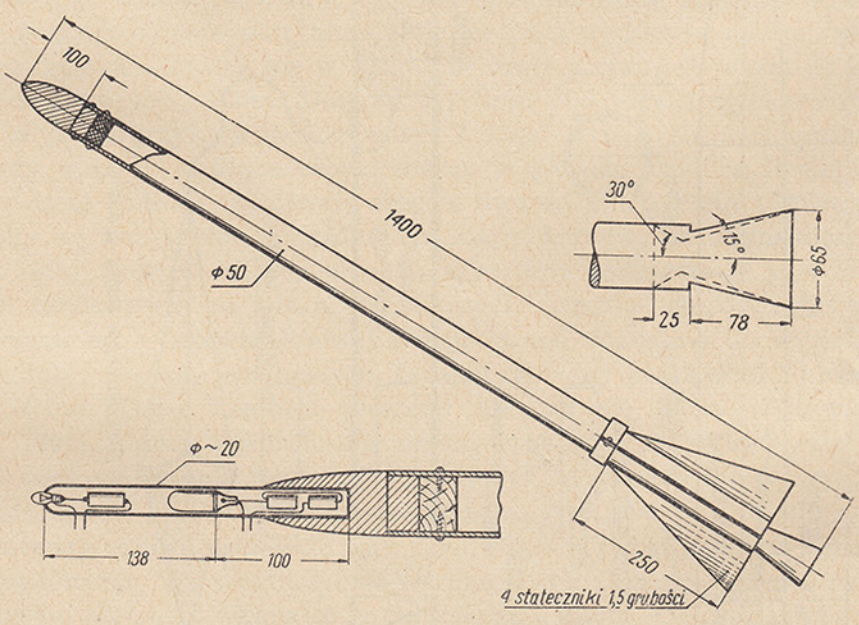
Rys. 127. Rakieta wyczynowa „Alpha"

nych przez zespół specjalistów wojskowych USA dla użytku klubów rakietowych, na paliwo ZnS. „Alpha" rozwija prędkość 1150—1250 km/h osiągając wysokość do 5000 m.

A oto dalsze dane techniczne: materiał — rura stalowa (amerykańska norma stali SAE 1020), średnica zewnętrzna 21,5 mm, średnica wewnętrzna 20 mm, grubość ścianki 1,5 mm, paliwo Zn — 2,04 części, S — 1 część (wagowo), ciężar paliwa 3,90 kG, prędkość spalania 225 cm/sek, długość komory paliwowej 1105 mm, powierzchnia spalania ładunku 13 cm^2, czas spalania 0,5 sek, ciśnienie w komorze spalania 7 atm, temperatura w komorze spalania 1660°C, ciąg 360 kG, efektywna prędkość wylotowa gazów 500 m/sek. Rozmiary dyszy wylotowej podano na rys. 127. Ciężar własny rakiety około 3,6 kG.

Głowica w zależności od położenia środka ciężkości wykonana jest z drewna lub duraluminium. Usterzenie złożone jest z czterech stateczników ustawionych co 90° na obwodzie kadłuba. Wycięte są one z blachy stalowej o grubości 1,5 mm i umocowane za pomocą kołnierzy metalowych do kadłuba.

Rakieta wyczynowa „Beta". Jest to dalsze rozwinięcie poprzedniej rakiety o większym ciągu — rzędu 500 kG, prędkości 1450 km/h i pułapie około 6000 m. Rakieta może być wyposażona w drugi stopień,

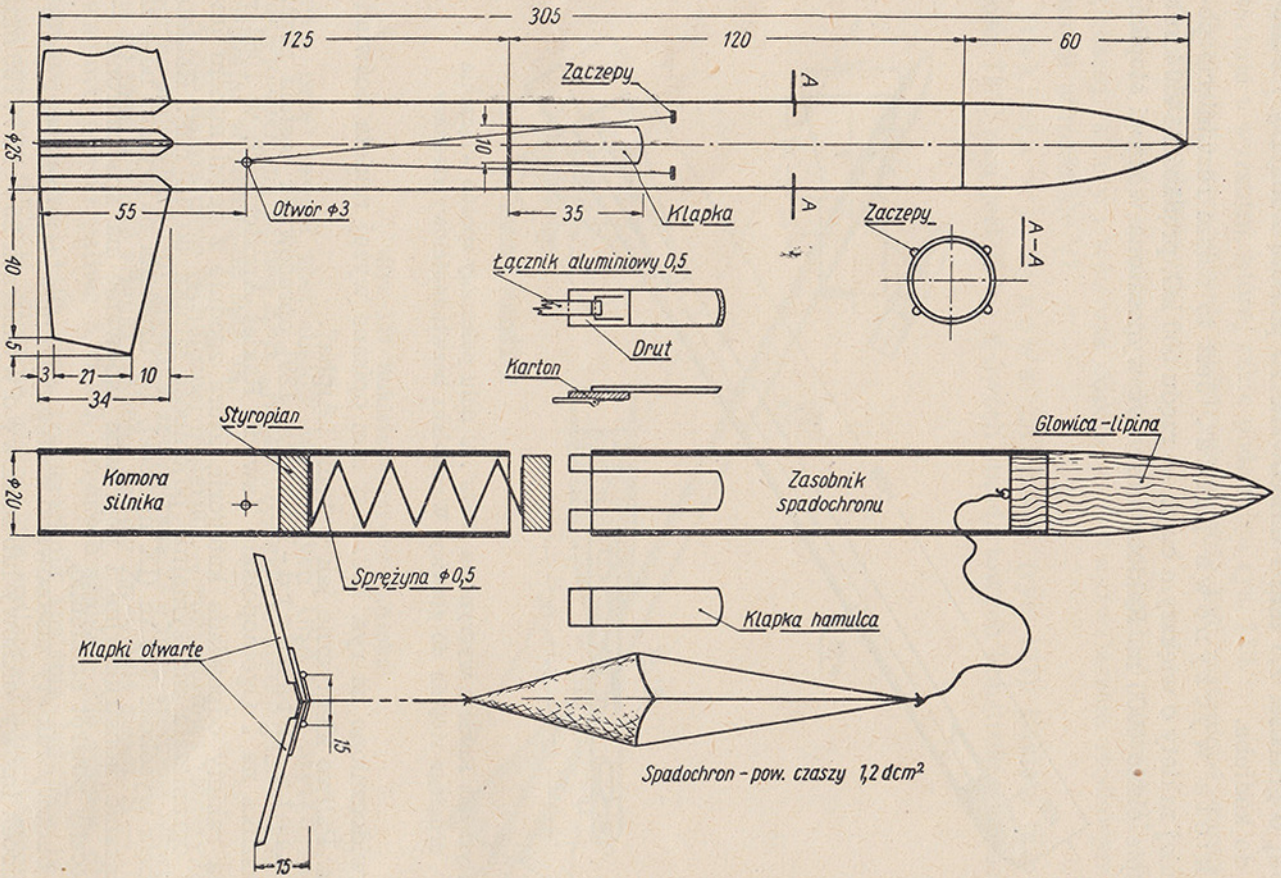


Rys. 128. Rakieta wyczynowa „Beta". U dołu pokazany sposób włączenia drugiego stopnia do głowicy. Wyzwalacz bezwładnościowy rtęciowy

jak uwidoczniono na rys. 128. Jest nim opisana wyżej rakieta doświadczalna. Paliwo identyczne jak w typie „Alpha".

Rakieta „Standard-15" (rys. 129) opracowana została przez J. Kuszilka na I Ogólnopolskie Zawody Rakiet Amatorskich w 1962 r. Nazwa rakiety odpowiada kategorii, która zgodnie z regulaminem imprezy ograniczała maksymalnie pojemność silnika do 15 cm^3. Rakieta osiągnęła wysokość 360 m (IX miejsce), ale uzyskała najwyższą notę za rozwiązanie konstrukcyjne i poprawne lądowanie na spadochronie — bezpieczny powrót na ziemię.

Do budowy rakiety zastosowano następujące materiały: karton kreślarski, klocek lipowy, olchowy lub sosnowy o wymiarach 25 × 25 × 100 mm, listwa sosnowa 2 × 10 × 100 mm, odcinek blachy aluminiowej lub miedzianej grubości 1,5 mm, drut stalowy grubości 0,5 i 1 mm, odcinek jedwabiu 150 × 150 mm, dwa korki, klej kazeinowy, lakier.



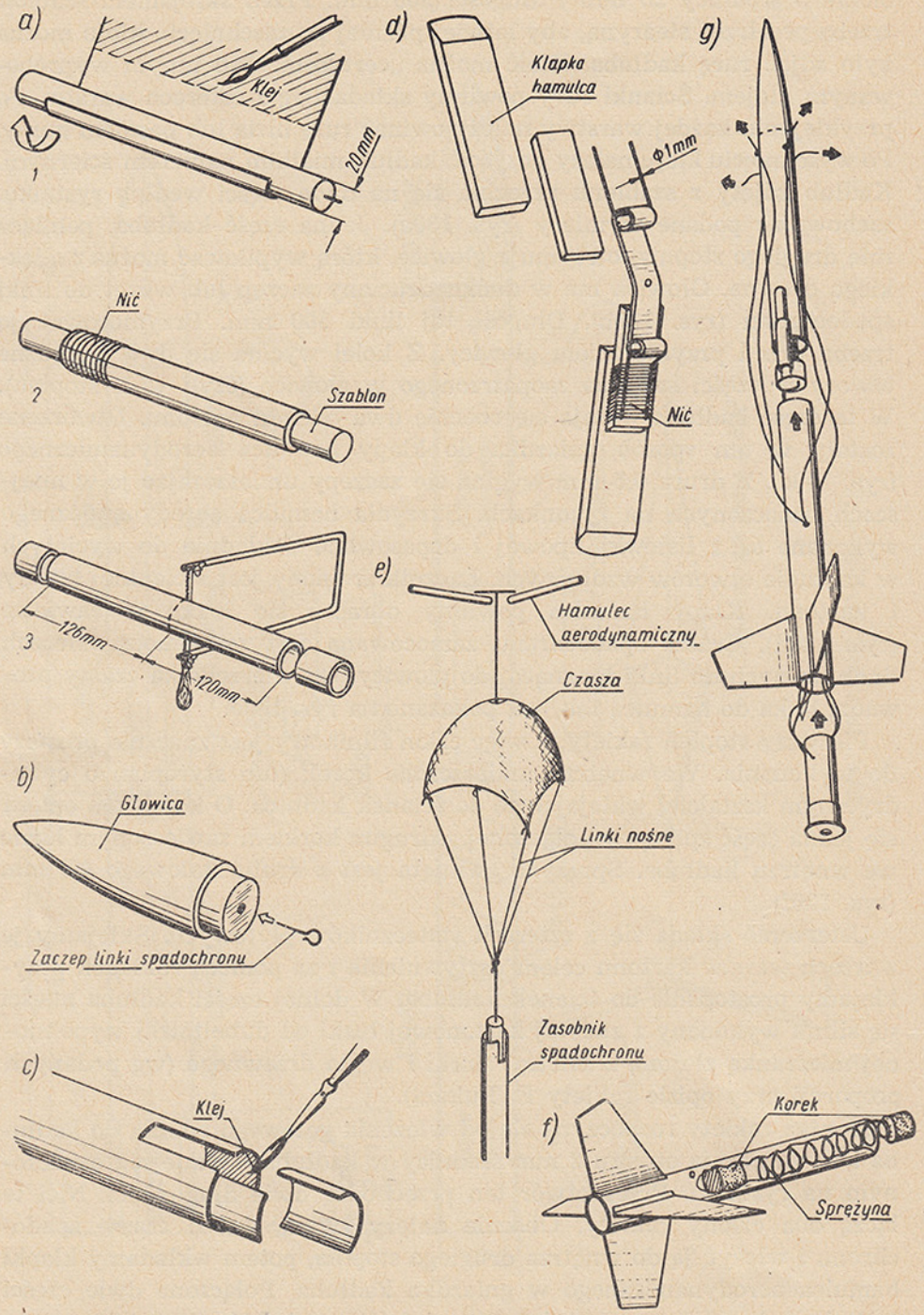
Rys. 129. Rakieta Standard 15

Kadłub rakiety sklejony jest z arkusza kartonu na drewnianym szablonie o średnicy 20 mm i długości 300 mm. Przed sklejaniem szablon trzeba przetrzeć stearyną, aby łatwiej później po zaschnięciu kleju można było zdjąć rurę kadłuba. Kleić można „certusem" lub innym wypróbowanym klejem. Ścianki rury powinny składać się z czterech warstw. Po przyklejeniu każdej warstwy należy owinąć rurę nicią lub pasmem gumy. Po wyschnięciu kleju należy oczyścić kadłub miałkim papierem ściernym. Kadłub zdjęty z szablonu przecina się na dwie części według rysunku, zachowując podane wymiary (rys. 130a). Jedna część kadłuba, pełniąca rolę drugiego stopnia, otrzymuje głowicę, którą wypiłować można z miękkiego drewna. Głowica ma w denku druciany zaczep lub wkręt do linki spadochronu (rys. 130b). Długość tej linki 500 mm. Przymocować ją trzeba przed przyklejeniem głowicy. Z kolei wycina się dwa wzdłużne otwory w części kadłuba zaopatrzonego w głowicę (czyli w II stopień). W tę część kadłuba wkleja się obecnie dwa odcinki kartonu. Utworzone zostały w ten sposób gniazdka do klapy hamulca aerodynamicznego (rys. 130c). Z drutu 0,5 mm wygina się zaczepy umieszczając je w miejscach oznaczonych na rysunkach. Skrzydła hamulca aerodynamicznego wykonane są z listewki lipowej i dopasowane dokładnie do wyciętych w kadłubie otworów wzdłużnych. Łącznik zrobiony jest z cienkiej blachy i kartonu. Klapy hamulca powinny obracać się lekko w zawiasie (rys. 130d). Czasza spadochronu zamocowana jest za pomocą czterech linek nośnych do linki biegnącej do głowicy. Od wierzchołka czaszy prowadzi linka do hamulca tak, jak pokazano na rys. 130e.

Pierwszy stopień rakiety, a więc człon silnikowy jest znacznie prostszy do wykonania. We wnętrzu umieszczono korek (lub styropian o cylindrycznym kształcie) wklejając go do ścianek kadłuba. O korek ten opiera się jedna część sprężyny połączonej z drugim korkiem zawieszonym luźno we wnętrzu kadłuba. Sprężyna zwinięta jest z drutu stalowego 0,5 mm (rys. 130f).

Usterzenie składa się z czterech stateczników płytowych. Sklejamy je z trzech warstw kartonu celem usztywnienia i za pomocą zakładek przyklejamy prostopadle do ścianek kadłuba. W dolnej części kadłuba mieści się silnik wykonany z zużytej kartonowej łuski od dubeltówki wypełnionej mieszanką złożoną z saletry, siarki i węgla drzewnego (wg podanych proporcji przy opisie rakiety E. Buksza).

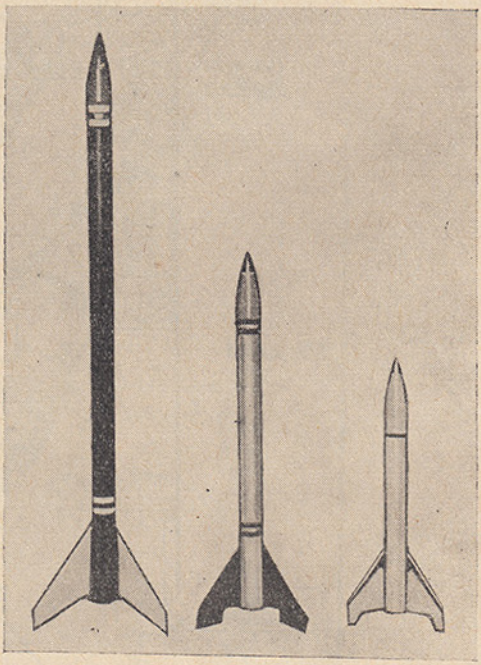
Montaż rakiety rozpoczyna się od włożenia gotowego silnika do kadłuba i wywiercenia otworu 2 mm średnicy w kadłubie, w miejscu oznaczonym na rysunku. Przez otwór ten przechodzą dwie długie nici. Nici te łączą oba człony rakiety. Obecnie należy zwinąć luźno czaszę spadochronu i włożyć ją do wnętrza drugiego stopnia, potem wkładamy klapki hamulca aerodynamicznego w gniazdka kadłuba. Połączone dwie części kadłuba zabezpieczone zostają nitkami (nić szara), które przywiązane są do drucianych zaczepów (rys. 130 g).



Rys. 130. Sposób wykonania: a) kadłuba, b) głowicy, c) otworu, d) zawiasów hamulca, e) umocowania spadochronu

Działanie rakiety jest następujące: w czasie lotu, gdy silnik przestaje pracować, przepala się nić przewleczona przez silnik. Po pewnym czasie sprężyna wysuwa korek rozłączając obie części. Otwierają się klapki hamulca, który wyciąga z zasobnika drugiego członu czaszę spadochronu. Rakieta nośna (silnikowa) opada sama na ziemię, podczas gdy drugi człon opada na rozpostartej czaszy spadochronu.

Rakiety fabryczne. Interesujące są rakiety i paliwa produkowane przez różne wytwórnie i sprzedawane (np. w USA) w formie zestawów materiałowych do samodzielnego złożenia. Jedna z amerykańskich wytwórni oferuje trzy rodzaje ładunków paliwa stałego w formie walców opakowanych kartonem: Typ I o ciągu 8,5 kG, typ II o ciągu 15 kG i typ III o ciągu 19—21 kG. Wymiary ładunków: długość 200 mm, średnica 40 mm. Ładunki odpalane są specjalnym lontem, dostarczonym przez wytwórnię.



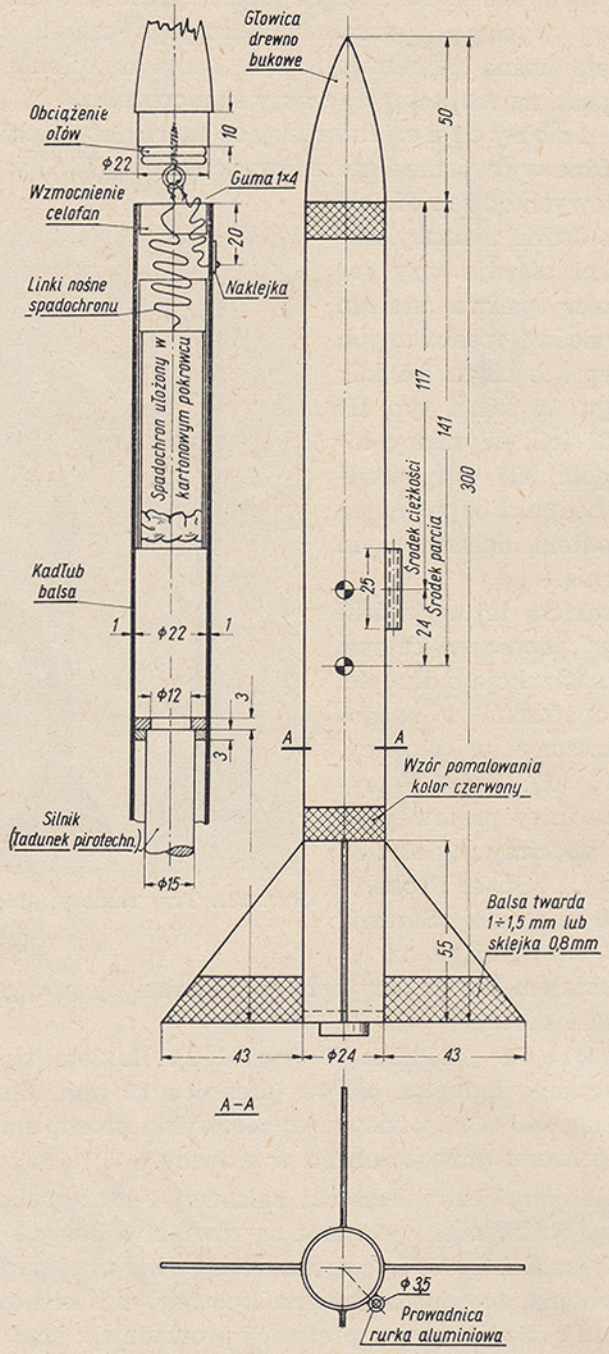
Rys. 131. Trzy rakiety: „Mercury", „Space Probe-I" i „Saturn"

Najlepszą rakietą tej wytwórni jest „Mercury", dobrze i celowo opracowana konstrukcja o długości 1200 mm zaopatrzona w spadochron umieszczony w głowicy. Ciąg rzędu 15 kG. Start z wyrzutni o prowadnicy prętowej.

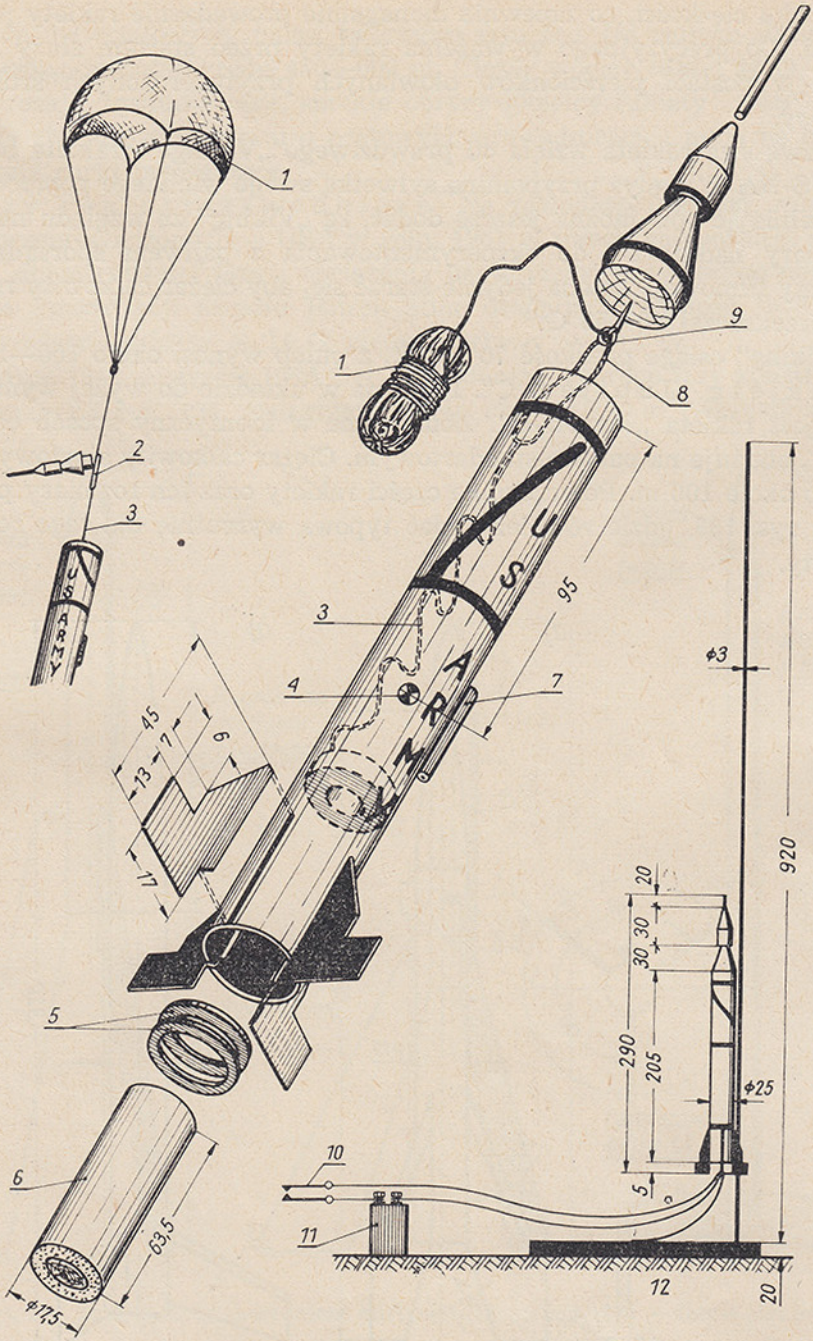
Na rys. 131 widzimy rakiety: od lewej „Mercury", „Space Probe I" o długości 800 mm oraz „Saturn" o długości 600 mm i ciągu od 1,2 do 6 kG. Materiałem konstrukcyjnym wspomnianych rakiet są tworzywa sztuczne, balsa i karton.

Mała rakieta „Viking" (rys. 132). Rakieta ta przeznaczona jest do fabrycznego ładunku paliwa (średnica 15 mm, długość 93 mm, ciężar 20 G, ciąg 240 G), a budowa jej niezwykle prosta umożliwia zastosowanie spadochronu umieszczonego w głowicy.

Kadłub sklejony jest z deseczki balsowej 1 mm grubości, zwiniętej rurowo. Cztery stateczniki wykonane są również z balsy 1 mm grubości. W braku balsy kadłub może być sporządzony z klejonej papierowej rurki. Głowica drewniana, toczona z drewna lipowego lub olchowego. Rakieta „Viking" startuje z wyrzutni o prętowej prowadnicy, stąd też na kadłubie umieszczona jest rurka aluminiowa średnicy 3,5 mm i długości 25 mm. Warto zwrócić uwagę, że rurka przyklejona jest dokładnie



Rys. 132. Rakieta „Viking" ze spadochronem wyciąganym przez samoczynnie wyrzucaną głowicę



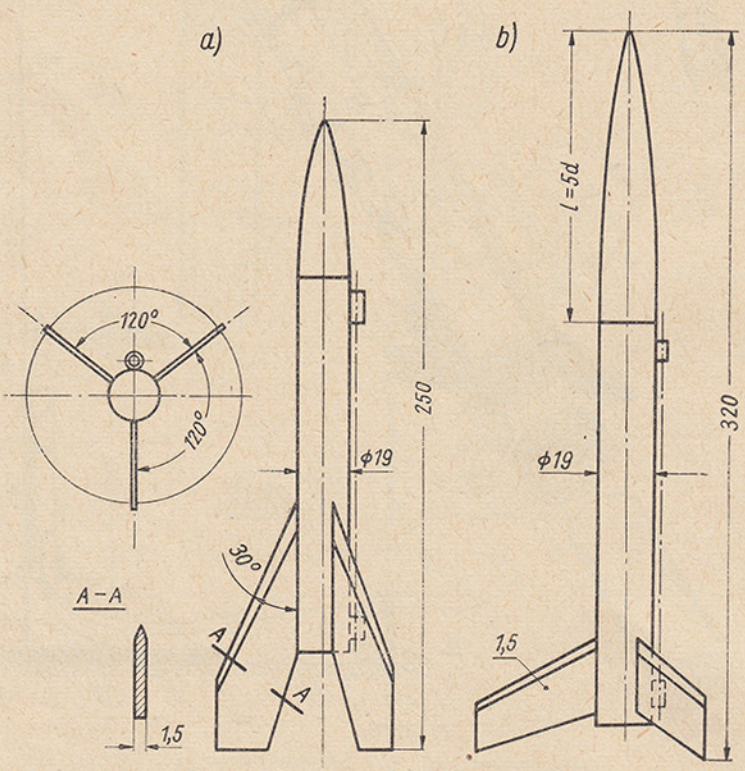
Rys. 133. Konstrukcja rakiety „Jupiter C": *1* — spadochron, *2* — pierścień gumowy, *3* — sznur, *4* — środek ciężkości, *5* — pierścienie ustalające położenie ładunku paliwa, *6* — ładunek paliwa, *7* — rurka-prowadnica, *8* — pierścień gumowy, *9* — wkręt, *10* — przycisk startowy, *11* — bateria, *12* — wyrzutnia prętowa na drewnianej podstawie

w środku ciężkości, co zapewnia nienaganne prowadzenie rakiety po wyrzutni. Do precyzyjnego wyważenia rakiety przed startem służy obciążenie w postaci pierścionków ołowianych przytwierdzonych śrubą do głowicy.

Nazwę swą rakieta wzięła od prawdziwego „Vikinga" (rakieta badawcza US-NAVY), gdyż przypomina sylwetką swego wielkiego poprzednika. Uzupełniając opis można jeszcze dodać, że „Viking" ze względu na małe rozmiary nadaje się do eksperymentowania z paliwem sporządzanym z taśmy filmowej. Trzeba jedynie starać się, aby ciężar całkowity rakiety nie przekraczał 40—50 G.

„Viking" osiąga prędkość 70 m/sek, a pułap wynosi około 100—150 m.

Rakieta „Jupiter-C". Podobna w układzie do wyżej wymienionej, jest rakieta „Jupiter-C". Zbudowana w identyczny sposób co „Viking", startuje na paliwie standartowym. Ciężar całkowity startowy 60 G. Pułap około 100 m. Poszczególne części rakiety oraz ich rozmiary podane są na rys. 133, gdzie również widać typową wyrzutnię dla tego rodzaju rakiety.



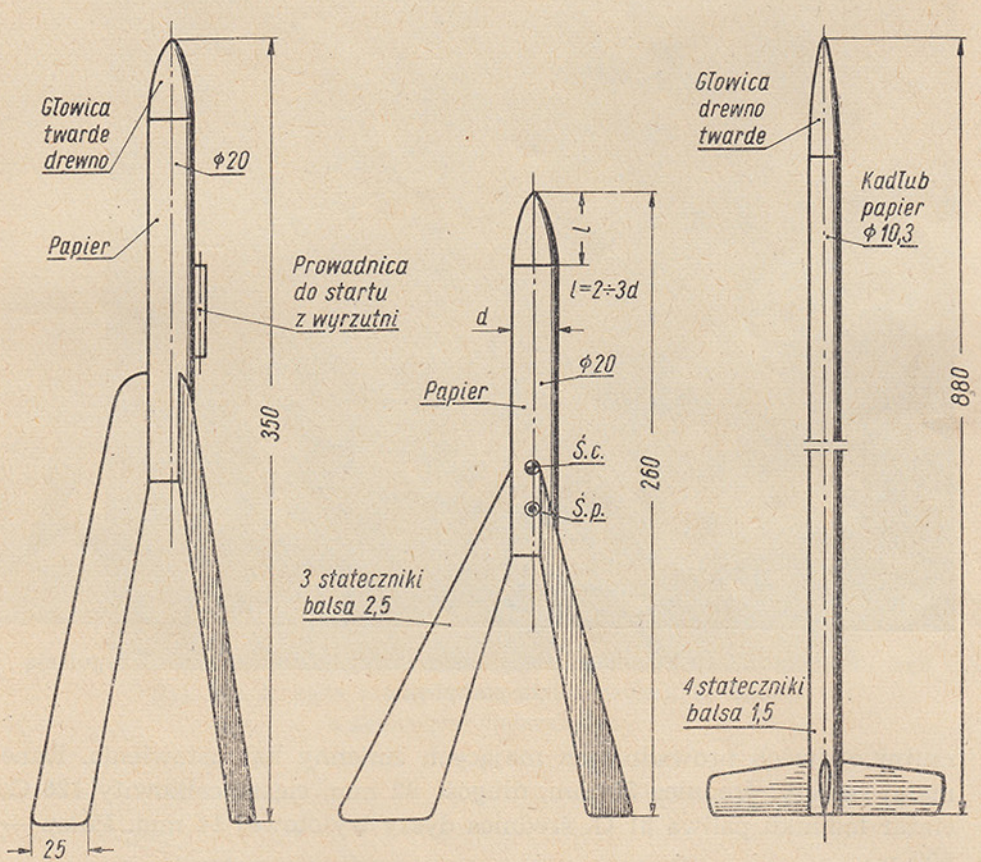
Rys. 134. Dwie rakiety fabrycznej produkcji

Rakieta „ISIS-A" i „Li'l Mark" (rys. 134). Dwie rakiety amerykańskie przeznaczone do budowy amatorskiej i sprzedawane w ze-

stawach materiałowych: balsa, tworzywo sztuczne. Na paliwie standartowym osiągają pułap rzędu 450—600 m. Ciężar własny rakiet 28 G. Uwagę zwracają wystudiowane, smukłe obrysy głowicy rakiety „ISIS". Obie rakiety startują z wyrzutni o prętowych prowadnicach i mają na kadłubie dwie rurki prowadzące.

Trzy rakiety zawodnicze. Na zawodach młodych rakietników przeprowadzonych w USA w roku 1961 w trzech kategoriach: wysokości, długotrwałości lotu i obciążenia użytecznego, zwycięstwo odniosła rakieta konstrukcji zespołu Hitsch-Stine osiągając wysokość 1910 m [1]). Ciężar własny rakiety — 14 G, ciężar startowy — 53,2 G.

W roku 1960 mistrzem USA był John Bonine, którego trzy konstrukcje podajemy na rys. 135. Osiągnięty pułap około 1000 m. Wszystkie trzy



Rys. 135. Trzy rakiety zawodnicze mistrza USA na rok 1960 — Johna Bonine'a

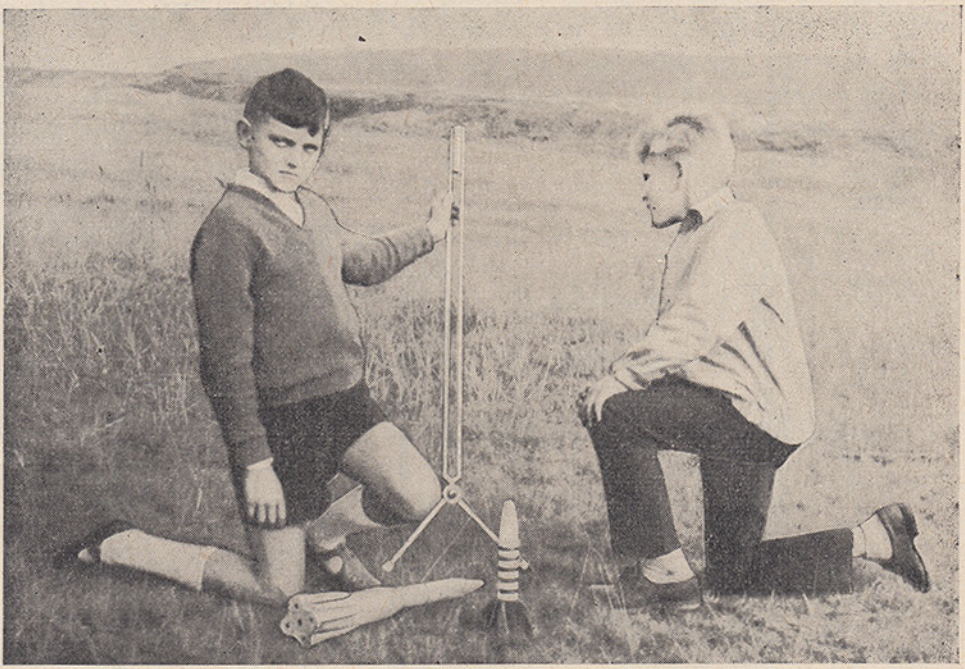
rakiety mają kadłuby rurowe zwinięte z papieru, a głowice drewniane. Uwagę zwracają stateczniki dwóch rakiet o dużej rozpiętości i długości. Przypominają one nieco układem swym rakiety prochowe z XIX wieku,

[1]) Pomiar uzyskany radiolokatorem.

ale dodać warto, że usterzenie tego typu jest bardzo skuteczne. Nieznane jest, niestety, oficjalnie paliwo wymienionych rakiet, choć przypuszczać jedynie można, że była nim powszechnie stosowana mieszanka ZnS.

Rakiety doświadczalne Wiktora Skudło. Instruktor klubu rakietowego w Mysłowicach na Śląsku Wiktor Skudło opracował kilka wersji (zbudował ponad 100 typów) małych rakiet doświadczalnych na paliwo własnej produkcji. Rakiety Skudły odznaczają się bardzo pewnym startem, a ładunki składają się z mieszanki pirotechnicznej.

Na rysunkach 136 i 137 podano dwa rodzaje rakiet: z usterzeniem prętowym i bez usterzenia — startujące ze specjalnie zaprojektowanej wy-



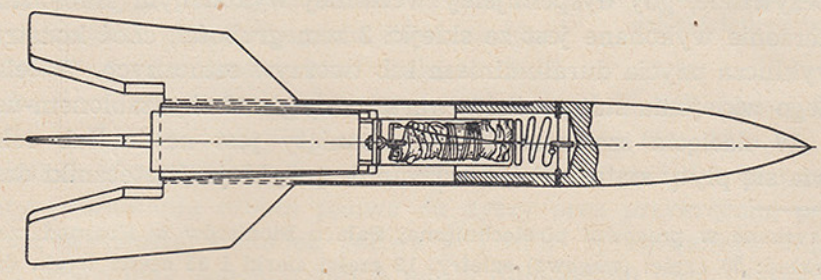
Rys. 136. Trzy rodzaje rakiet Wiktora Skudło i oryginalna wyrzutnia z regulacją kąta pochylenia

rzutni o dwóch prowadnicach mających zmienny kąt ustawienia. Dane małej rakiety: średnica 30 mm, długość 92 mm, ciężar całkowity 126 G, ciężar ładunku paliwa 81 G, średnica dyszy wylotowej 14 mm. Pułap — 400 m.

Rakieta Hobby-Nike". Dla uzupełnienia przeglądu co ciekawszych konstrukcji standartowych rakiet, warto jeszcze wymienić „Hobby-Nike" produkcji NRF. Rakieta wyposażona jest w silnik podobny do „Jetexów", który rozwija ciąg statyczny od 1 do 2 kG. Czas spalania 3,5 sek. Długość rakiety 400 mm, a maksymalna średnica 38 mm. Głowica balsowa, kadłub z pertinaxu (tworzywo sztuczne). W części kadłubowej

(rys. 138) umieszczony jest spadochron działający po zakończeniu pracy silnika. Maksymalny pułap około 200—300 m. Start z wyrzutni o trzech prowadnicach długości 1,5 m. Wyrzutnia wykonana jest z profilowanego

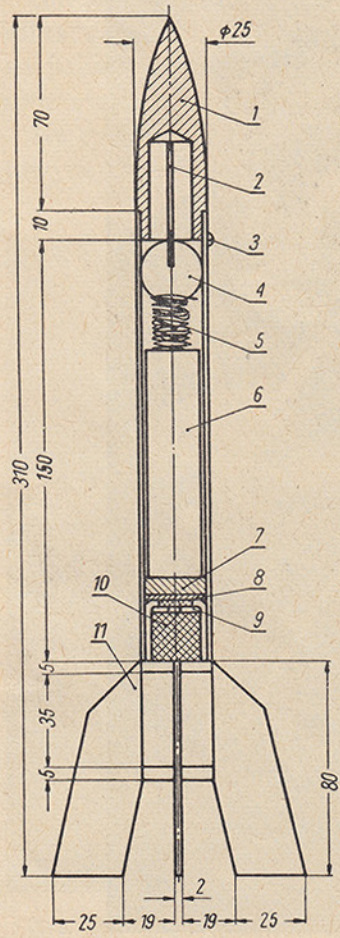
Rys. 137. Rakiety różnej wielkości konstrukcji W. Skudły, z prętowymi statecznikami



Rys. 138. Rakieta „Hobby-Nike"

aluminium. Zapłon odległościowy (z odległości 10 m) elektryczny od baterii 4,5 V.

Rakieta Eugeniusza Buksza (ZSRR). Rakieta (rys. 137) jednego z instruktorów rakietnictwa Pałacu Pionierów w Krasnodarze odznacza się niewielkimi rozmiarami i dobrymi osiągami: pułap rzędu 200—300 m. Podstawową częścią rakiety jest silnik sporządzony z pustej (kartonowej) łuski pocisku (kalibru 12) od dubeltówki, którą wypełnia paliwo własnej produkcji [1]). Łuska ma stożkowe wydrążenie (dyszę) zwiększające, jak już wiemy z uprzednich rozważań, powierzchnię spalania (rys. 139). Dodać warto, że łuska wypełniona jest prawie całkowicie masą pirotechniczną, a na wierzchu umieszczony jest krążek tekturowy grubości 3 mm z otworem 3—5 mm w środku.



Kadłub rakiety sporządzony jest z kilku warstw papieru, które sklejono na drewnianym szablonie o średnicy 25 mm. Oto wymiary papieru: szerokość 205 mm, długość 500—600 mm. Głowica wytoczona jest z miękkiego drewna (np. olchy).

Zamiast głowicy drewnianej istnieje możliwość użycia tworzyw sztucznych, a nawet papieru. W tym ostatnim przypadku głowicę skleja się z bardzo wąskich pasków formując w przewidziany kształt zanim klej dobrze zaschnie — możliwe to jest oczywiście, gdy dysponujemy wcześniej wykonanym szablonem.

Rys. 139. Rakieta konstrukcji E. Buksza: *1* — głowica, *2* — antena, *3* — zamocowanie linek, *4* — sputnik, *5* — linki, *6* — spadochron, *7—8* — przekładki, *9* — podsypka prochowa, *10* — ładunek paliwa, *11* — usterzenie o 4 statecznikach

Usterzenie wykonane jest ze sklejki 2 mm grubości, choć konstruktor nie wyklucza użycia duraluminium lub tworzyw sztucznych. W celu dokładnego wklejenia stateczników warto posługiwać się szablonem-ustalaczem. W nacięcia szablonu, który nasunięty jest na kadłub rakiety, wstawia się płyty stateczników i starannie przykleja. Stateczniki duralu-

[1]) Uzyskane w pracowni pirotechnicznej Pałacu Pionierów w Krasnodarze. Typowy skład: 75 części (wagowo) saletry, 12 części siarki i 35 części węgla drzewnego. *Wg W. Jeskowa* — Krylia Rodiny — 1962 r.

miniowe natomiast są przynitowane do obręczy opasującej w tym przypadku kadłub rakiety.

W kadłubie rakiety mieści się mały sputnik i spadochron. „Sputnik" ma kształt kuli o średnicy 21 mm z czterema antenami drucianymi o długości 50 mm. Spadochron wykonany jest z jedwabiu.

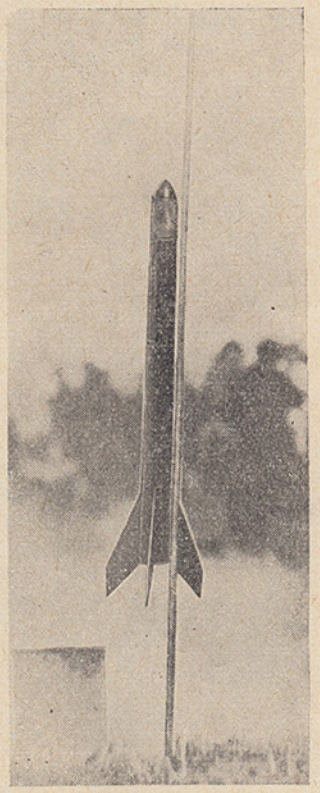
Zapłon stosowano lontowy bezpośredni lub odległościowy — elektryczny. Wyrzucenie spadochronu i sputnika następuje po spaleniu się ładunku paliwa. W tym celu tuż za ładunkiem ułożona jest podsypka prochowa (0,5 G) oddzielona podkładką tekturową. Gdy tak sporządzony „wyrzutnik" zapali się, ciśnienie gazów wyrzuca łuskę ładunku, która pociąga za sobą przyczepiony drucikiem miedzianym krążek sklejkowy zamykający pojemnik spadochronu i sputnika.

Istnieje także druga wersja omawianej rakiety, w której spadochron i sputnik wyrzucane są od strony głowicy.

Wyrzutnia konstrukcji drewnianej z czterema prowadnicami.

Rakiety klubu w Kostino (ZSRR). Ciekawe są konstrukcje dwustopniowej rakiety opracowane przez zespół członków podmoskiewskiego klubu rakietowego w Kostino.

Oto uzyskane wyniki: I stopień — pułap 80 m, II stopień — 170 m, spadochron (∅ 150 mm) otwiera się na wysokości 250 m. Silniki rakiet są wypełnione mieszanką pirotechniczną sporządzoną we własnym zakresie. Zapłon odległościowy, elektryczny. Konstrukcja rakiet i wyrzutni modelarzy ZSRR widoczna jest na rys. 140 i 141.



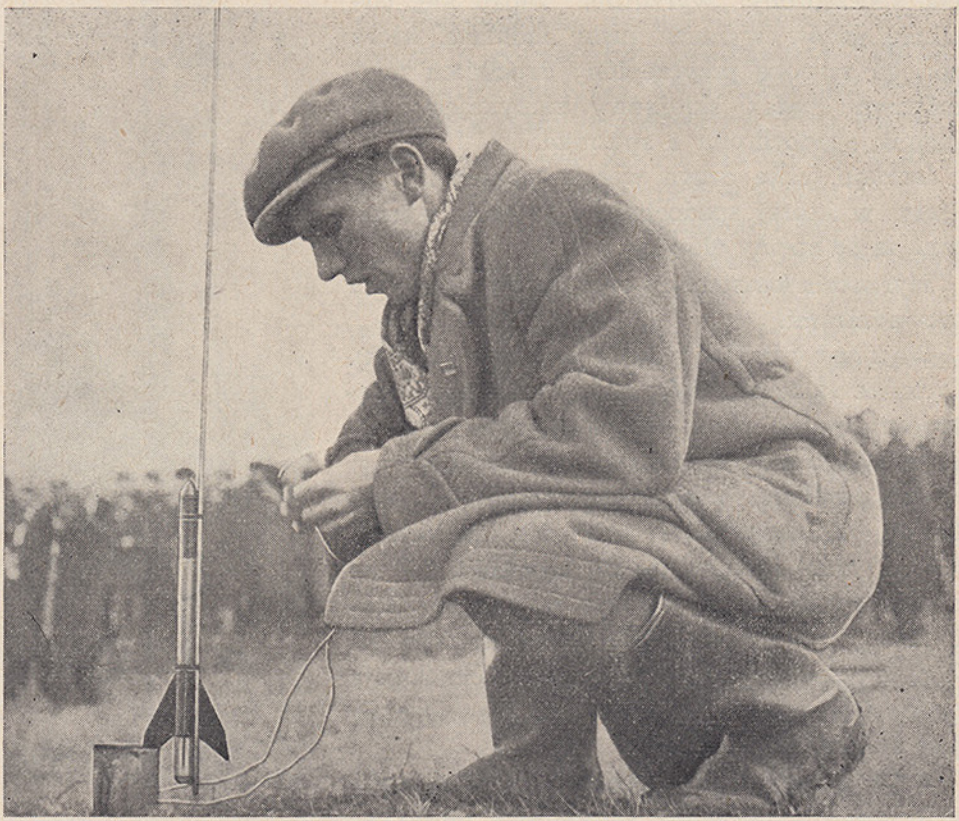
Rys. 140. Typowa rakieta amatorska konstrukcji radzieckich modelarzy

Rakieta ćwiczebna S-13. W przeglądzie naszym nie może oczywiście zabraknąć i rakiet, których przeznaczenie nie zawsze można podciągnąć pod wymagania stawiane konstrukcjom czysto amatorskim. Rakieta S-13 jest bowiem wynikiem pracy specjalistów z sekcji rakietowej SVAZ-ARM-u w Czechosłowacji i służy celom ćwiczebnym (rys. 142).

Silnik S-13 wytoczony jest z jednorodnej stali i posiada ruszt zapobiegający przenikaniu drobin paliwa do dyszy oraz przykręcaną pokrywę i dyszę wylotową. Ładunek paliwa w postaci sprasowanego drążonego walca o średnicy wewnętrznej 8 mm i długości 50 mm. Ciężar ładunku 41 G.

Skład paliwa, niestety nie amatorski, bowiem złożony ze składników prochowych silnie wybuchowych możliwych zatem do opanowania w warunkach laboratoryjnych — specjalnych. Ciąg silnika około 20 kG.

Kadłub rakiety wykonany jest z cienkiej rury aluminiowej o średnicy zewnętrznej 53 mm, a wewnętrznej 50 mm. Usterzenie również z aluminium. W przedniej części, tuż pod głowicą, mieści się komora przeznaczona na ładunek smugowy. Długość aluminiowych prowadnic wyrzutni 1,8 m. Pułap rakiety 120—150 m, a czas trwania lotu 10—12 sek.

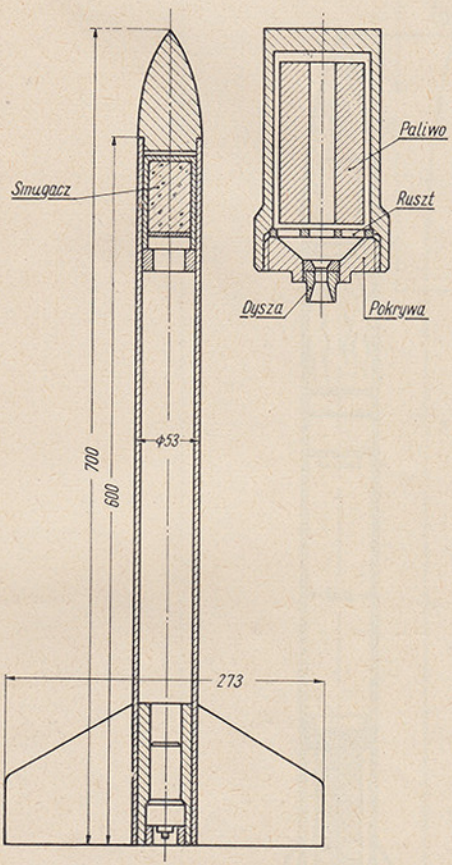


Rys. 141. ZSRR. — Start jednostopniowej rakiety na zawodach w 1962 r.

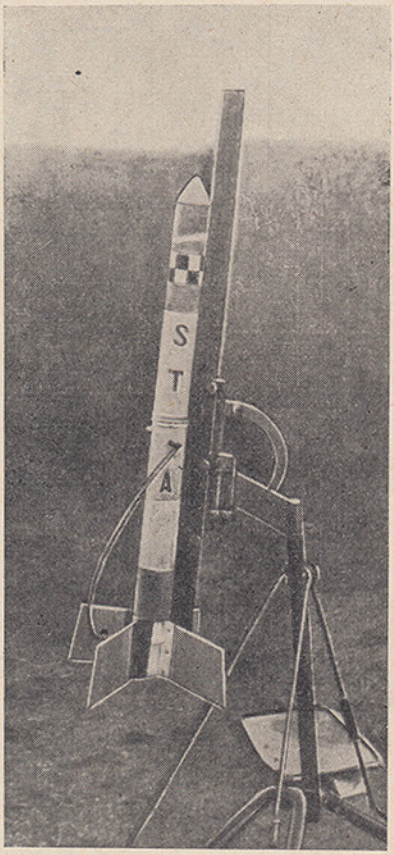
Na rys. 143 pokazano również inny typ rakiety Czechosłowaków. Jest to „Standard-A". Godna uwagi jest prostota budowy tej rakiety i stosunkowo krótka prowadnica wyrzutni.

Dwie rakiety chińskie. Ojczyzną rakiet są starożytne Chiny. Stąd też pochodzą interesujące prototypy rakiet świetlnych różnego rodzaju. Spośród współczesnych konstrukcji amatorskich godne uwagi są dwie (rys. 144): pierwsza (*a*) bez wyposażenia i druga (*b*) z wyposażeniem spadochronowym. Kadłub pierwszej rakiety wykonany jest z blachy

aluminiowej grubości 0,5 mm nitowanej wzdłużnie. Z tegoż materiału zbudowane są cztery stateczniki przynitowane do ścianek kadłuba. We wnętrzu kadłuba umieszczona jest rura do której „bagnetowo" przymo-



Rys. 142. Czechosłowacka rakieta doświadczalna



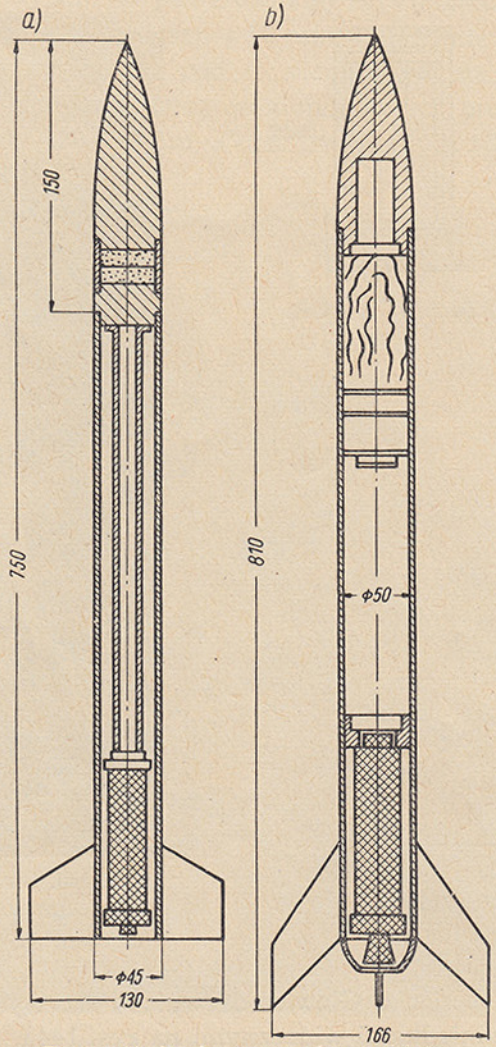
Rys. 143. Standard — A, rakieta czechosłowacka na oryginalnej wyrzutni

cowany jest dopiero silnik. Głowica drewniana amortyzowana jest dwiema gumowymi podkładkami widocznymi na rys. 144a. Drugi typ rakiety o nieco większych rozmiarach posiada zasobnik na spadochron. Grubość ścianek kadłuba 0,4 mm. Silnik przytwierdzony jest tutaj do wręgi kadłubowej.

Silnik rakietowy (skład paliwa bliżej nieznany) ma średnicę 32 mm, a długość 165 mm. Ciężar startowy rakiet obu omówionych typów wynosi około 1000 G, a maksymalny pułap 200—300 m.

Rakieta Zbigniewa Hałatjenki — Mistrza Polski na rok 1962. Rakieta ta osiągnęła wysokość 554 m na I Ogólnopolskich Zawodach Rakiet Amatorskich w Krakowie 8 kwietnia 1962 r. (rys. 145).

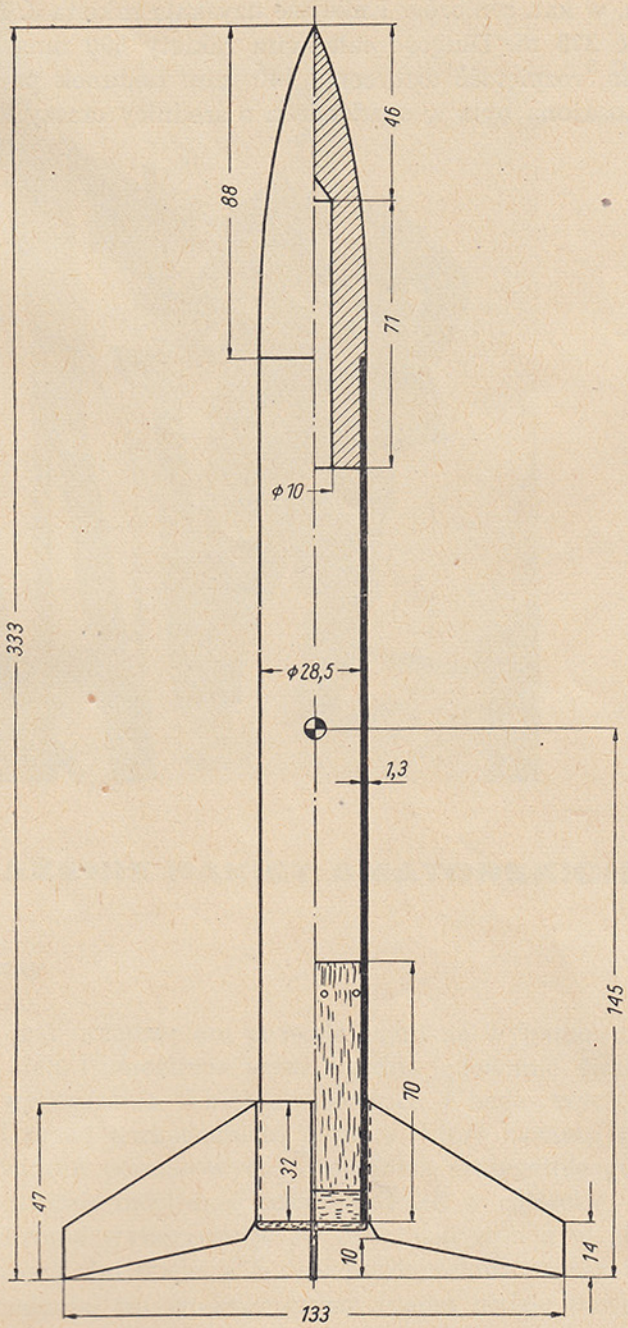
Głowica wykonana została z drewna lipowego. Wewnątrz wydrążono otwór dla balastu (śrutu). Otwór zabezpieczony jest kołkiem drewnianym. Kadłub sklejony z kartonu na szablonie — wałku drewnianym o średnicy



Rys. 144. Dwie oryginalne rakiety konstrukcji chińskich rakietników

26 mm. Usterzenie — sklejka grubości 1,2 mm składa się z czterech stateczników.

Silnik wykonano z pustej łuski od pocisku świetlnego. Po usunięciu spłonki, powstały otwór tworzy dyszę wylotową. W silniku umieszczono sprasowane paliwo stałe opracowane w warszawskiej modelarni lotniczej w Aeroklubie na Gocławiu. Rakieta odznacza się dobrą statecznością i osiąga duże prędkości. Nie posiada wyposażenia specjalnego.



Rys. 145. Rakieta Z. Hałatjenki

Rakieta Jana Berga. Na II Ogólnopolskich Zawodach Modeli Rakiet zorganizowanych na Pustyni Błędowskiej w dniach 15—16 czerwca 1963 roku, w kat. seniorów I miejsce uzyskała rakieta J. Berga osiągając wysokość 379 m. Długość całkowita rakiety 890 mm, średnica kadłuba 50 mm, rozpiętość usterzenia 140 mm. Ładunek paliwa 100 cm^3. Rakieta wyposażona była w spadochron o średnicy czaszy 800 mm.

ROZDZIAŁ VI

WYPOSAŻENIE RAKIET AMATORSKICH

1. Spadochrony

Spadochron jest urządzeniem pozwalającym na wyhamowanie prędkości spadającego ciała i umożliwiającym łagodne lądowanie. Należy on do zasadniczego wyposażenia rakiet amatorskich i badawczych. W szczególności chroni przed uszkodzeniem głowice, które zawierają szereg kosztownych urządzeń pomiarowych. Nierzadko, szczególnie gdy są małych rozmiarów, istnieje możliwość odzyskania ich w całości.

W spadochronie wykorzystuje się opór jaki stawia w powietrzu jego półkolista czasza. Im większa będzie powierzchnia czaszy tym mniejsza prędkość opadania. Im większy ciężar trzeba będzie powierzyć czaszy, tym odpowiednio wielka musi być jej powierzchnia. Opór zależny jest, jak już poprzednio wspomniano, od gęstości powietrza, prędkości, kształtu ciała i przekroju poprzecznego danego ciała.

Spróbujmy obecnie obliczyć zasadnicze rozmiary spadochronu dla typowej małej rakiety o ciężarze całkowitym 80 G, która powinna opadać ku ziemi z bezpieczną prędkością nie większą niż 5 m/sek.

Wykorzystując znany już wzór na opór (P_x) otrzymamy:

$$P_x[0{,}080\ \text{kG}] = C_x \frac{\varrho}{2} V^2 \cdot S$$

Po przekształceniu równania znajdziemy poszukiwaną powierzchnię znając współczynnik oporu C_x dla czaszy = 1,2 i $\varrho = 0{,}132 = \frac{1}{8}$:

$$S = \frac{P_x}{\frac{\varrho}{2} \cdot C_x \cdot V^2} = \frac{0{,}080}{\frac{1}{16} \cdot 1{,}2 \cdot 5^2} = \frac{0{,}080}{\frac{1}{16} \cdot 1{,}2 \cdot 25} = 0{,}040\ \text{m}^2 = 400\ \text{cm}^2$$

Powierzchnię tę uzyskamy wykonując czaszę o obrysie kwadratowym, której bok wyniesie $\sqrt{400} = 20$ cm, lub też o obrysie kołowym przy średnicy około 23 cm, gdyż:

$$\sqrt{\frac{400 \cdot 4}{3{,}14}} = \sqrt{510} = 22{,}5\ \text{cm}$$

Spróbujmy obliczyć jeszcze, ile może ważyć rakieta (lub jej głowica) jeśli powierzchnia czaszy spadochronu wynosi 1,0 m², a prędkość opadania 6 m/sek.

Ciężar:

$$P_x = \frac{\varrho}{2} V^2 \cdot C_x \cdot S = \frac{\frac{1}{8}}{2} \cdot 6^2 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}0 = \frac{1}{16} \cdot 36 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}0 = 2{,}7\ \text{kG}$$

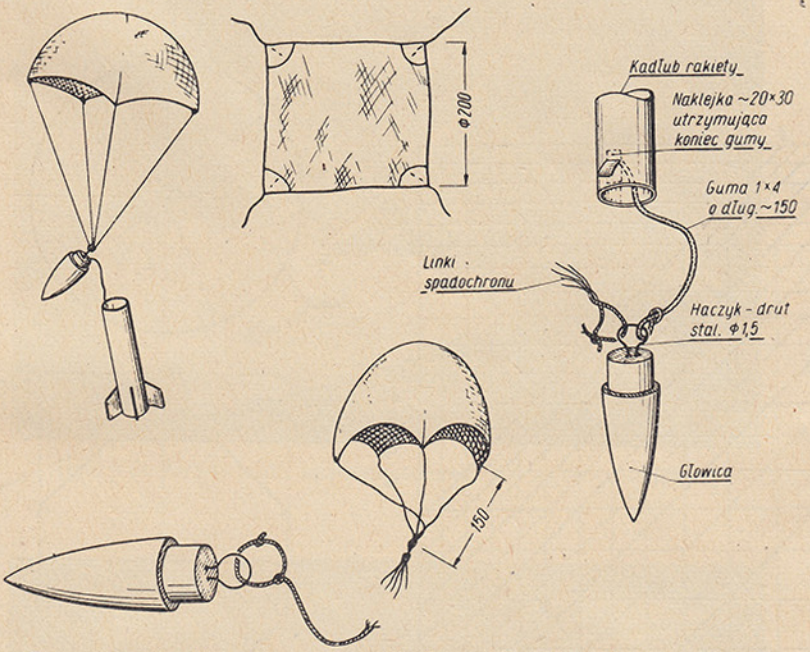
Po tym niezbędnym wstępie możemy zapoznać się z budową i sposobem składania spadochronów.

Rozpocząć należy od spadochronów przeznaczonych do małych rakiet o ciężarze własnym 50 — 60 G. Typowym dla małych rakiet jest spadochron (rys. 146) z czaszą o obrysie kwadratowym (o boku np. 200 mm). Czaszę najlepiej wyciąć z cienkiej folii plastykowej. Następnie wykrój zanurzamy do gorącej wody i naciągając go wzdłuż i wszerz otrzymujemy pożądany kopulasty kształt czaszy. Do czterech rogów czaszy od wewnątrz doczepione są linki nośne (niciane) o jednakowej długości 150—200 mm. Linki można przytwierdzić za pomocą przezroczystego przylepca lub przyklejonych odcinków folii. Końce linek należy związać, zwracając uwagę na jednakowy naciąg.

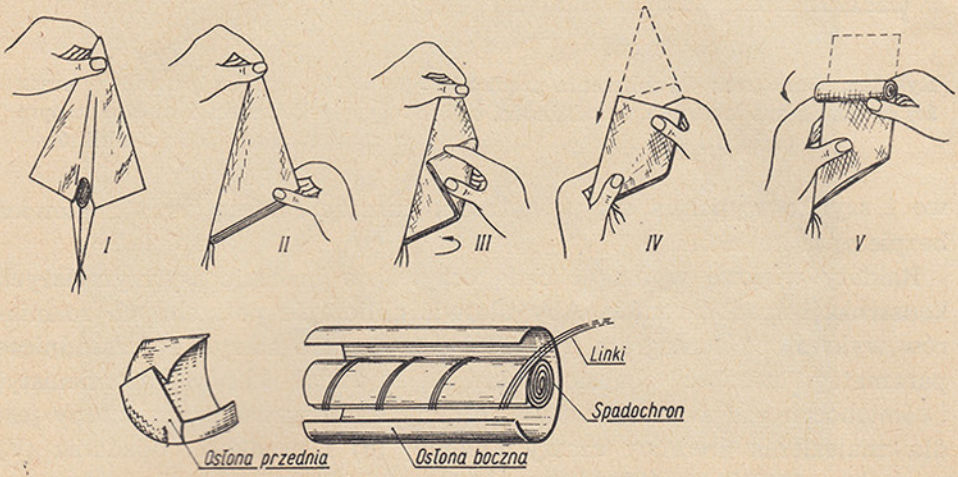
W podanym przykładzie, który jest typowy dla małych rakiet, koniec linek związany jest z głowicą. Głowica połączona jest natomiast z kadłubem rakiety za pomocą pasma gumy o przekroju 1 × 4 mm. Jeden koniec gumy przywiązano do głowicy, a drugi wchodzi w nacięcia kadłuba zabezpieczone papierową naklejką lub przylepcem.

Do najważniejszych czynności należy umiejętne składanie czaszy spadochronu. Na rysunku 147 pokazano kolejne fazy składania spado-

chronu: I — ujmujemy czaszę palcami lewej dłoni tak, aby cztery linki równomiernie zwisały, II — prawą ręką wygładzamy fałdy i zawijamy czaszę wzdłuż, III — zakładamy naroża w lewo, IV — następnie zakładamy w poprzek, V — płaski pakiet zwijamy ciasno w rolę, a wokół niej owijamy niezbyt ściśle linki. Przed ułożeniem zwiniętej czaszy do pojemnika rakiety wykonać trzeba osłonę kartonową. Osłonę wyciąć można z kartonu (o grubości karty pocztowej) owijając nim zwiniętą czaszę w sposób podany na rys. 147. Jak widać, uzupełnieniem jest tu osłona przednia odpowiednio ukształtowana.



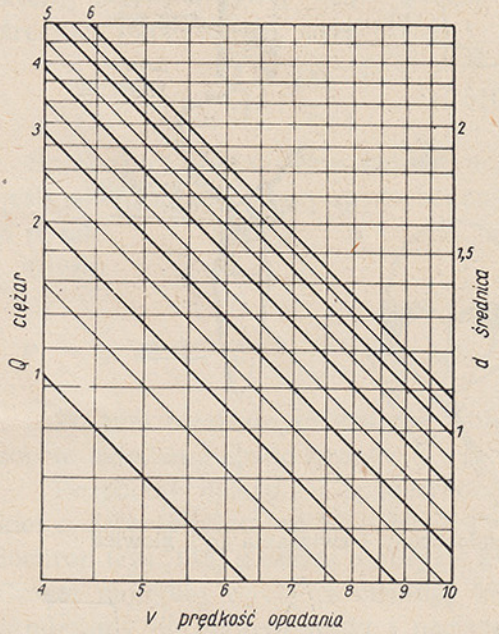
Rys. 146. Sposób wykonania spadochronu i związania go z głowicą



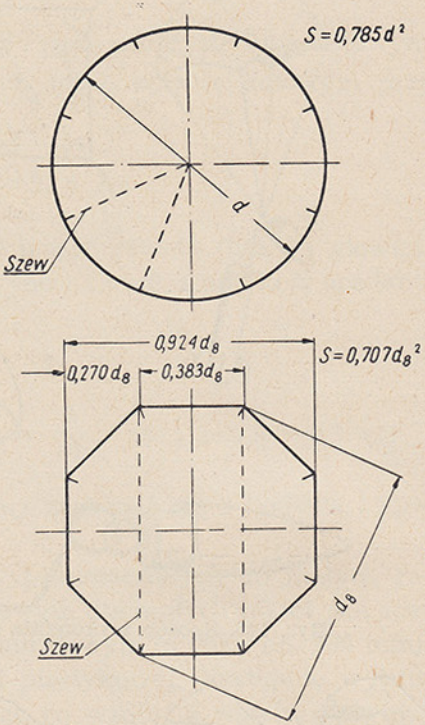
Rys. 147. Poszczególne fazy składania czaszy spadochronu

Cały ładunek powinien zachować dokładny kształt cylindryczny o średnicy 20 mm, długości 60 mm (dane orientacyjne). To jeszcze nie wszystko. Również pojemnik powinien zawierać zwinięty odcinek kartonu o szerokości około 80 mm długości i 75 mm szerokości. Wstawka taka musi ściśle przylegać do ścianek pojemnika rakiety. Dopiero obecnie można włożyć czaszę wraz z osłonami swobodnie układając pozostałą długość linek i zamykając otwór głowicą.

Tak starannie ułożony spadochron, z chwilą oddzielenia się głowicy, wypada lekko (trzeba wypróbować kilkakrotnie przed startem), prawidło-



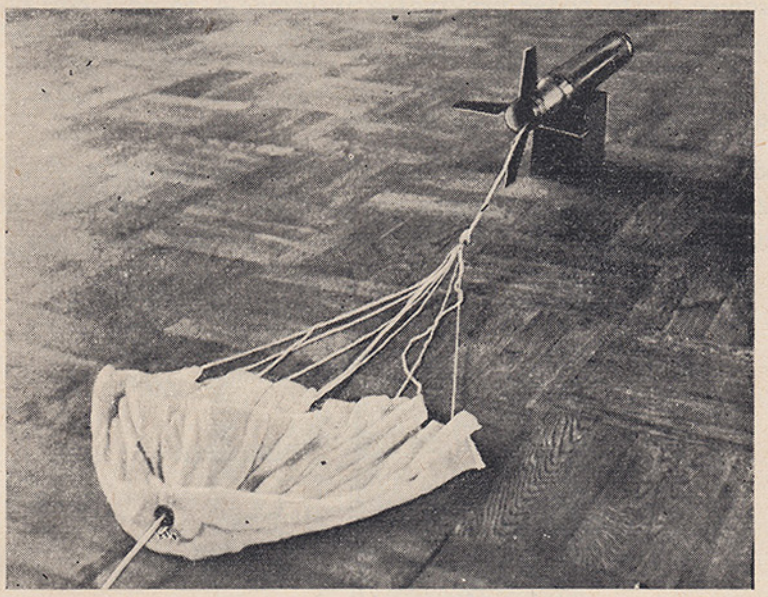
Rys. 148. Nomogram do obliczenia prędkości opadania spadochronu w zależności od ciężaru i średnicy



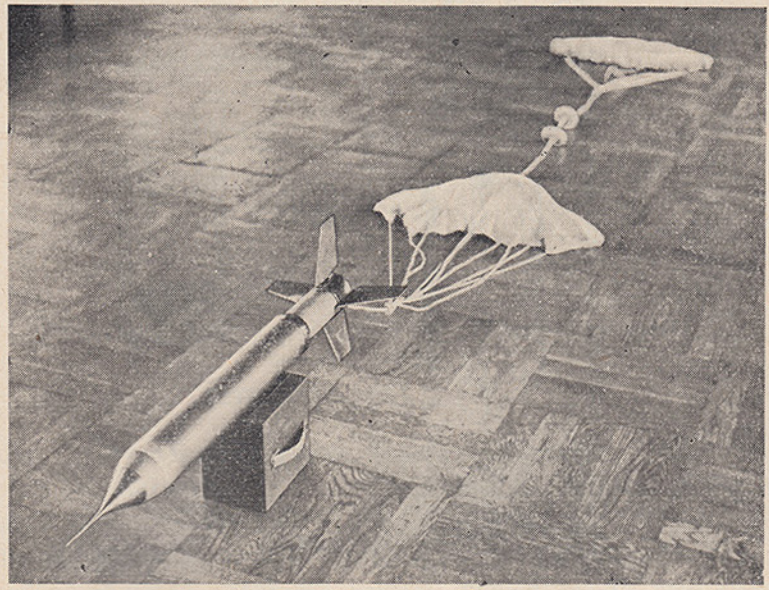
Rys. 149. Zasadnicze parametry czasz o obrysie kołowym i ośmiobocznym z zaznaczeniem podziału klinów

wo i szybko wypełnia się powietrzem unosząc rakietę wraz z głowicą bezpiecznie ku ziemi.

Rakiety większe wymagać będą oczywiście znacznie wytrzymalszych konstrukcji spadochronów. Aby ułatwić obliczanie potrzebnych rozmiarów wykreślono nomogram (rys. 148) oraz podano na rys. 149 zasadnicze parametry czasz o obrysie kołowym (podział klinów promienisty) i ośmiobocznym (podział klinów wzdłużny). Nomogram przeznaczony jest dla znalezienia średnicy czaszy kołowej (d) i prędkości opadania (V) przy danym ciężarze (Q).



Rys. 150. Oryginalny spadochron rakiety meteorologicznej



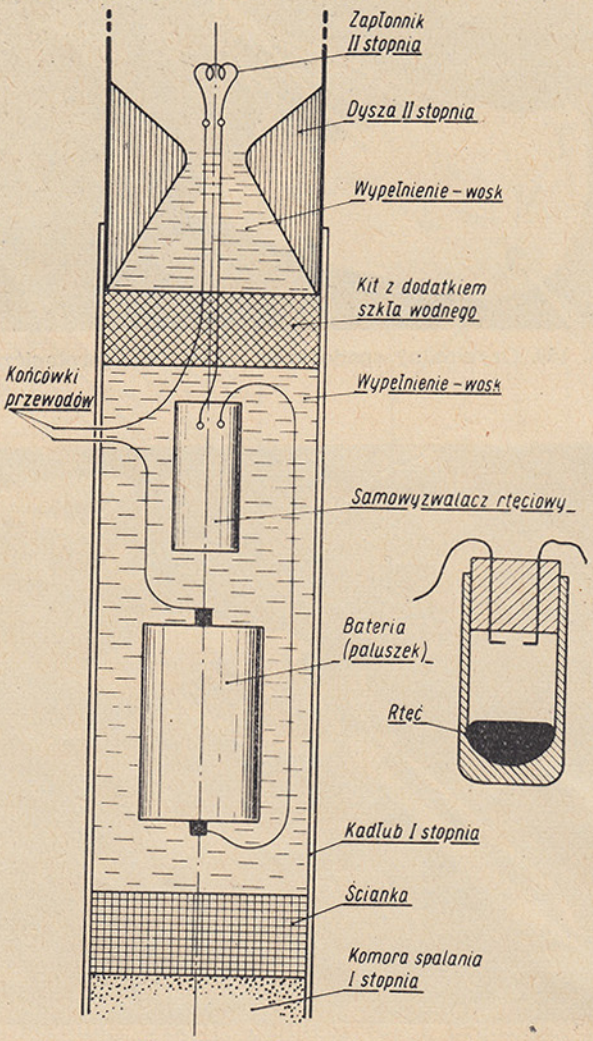
Rys. 151. Rakieta typu „RM" konstr. J. Walczewskiego z dwoma spadochronami

Materiałem na czasze może być jedwab, batyst lub cienki stylon zszyty z klinów. Linki nośne, plecione nylonowe o średnicy od 1,5 do 5,5 mm. Orientacyjna długość linek wynosi około 1,25 średnicy czaszy. Oryginalne spadochrony rakiet doświadczalnych podano na rysunkach 150 i 151.

Na koniec warto podać praktyczną informację, że do 1 cm^3 pojemnika można ułożyć 30 do 40 cm^2 czaszy spadochronu wraz z linkami.

2. Automaty odłączające drugi stopień

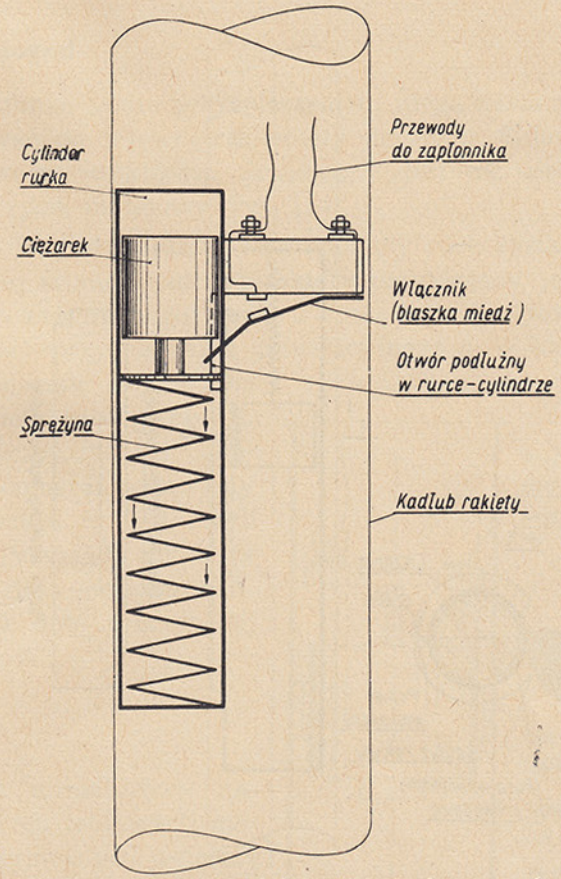
Spośród licznych systemów rozłączania rakiet dwustopniowych, egzamin użyteczności zdał system podany na rys. 152. Głównym elementem jest tu wyzwalacz bezwładnościowy wykonany ze szklanej fiolki (np. po prosz-



Rys. 152. Sposób odłączania drugiego stopnia za pomocą bezwładnościowego wyzwalacza rtęciowego

kach), odrobiny rtęci i korka zamykającego. Do zasilania zapłonnika służy miniaturowa bateria paluszkowa, a sam zapłonnik II stopnia wykonano z włókna żaróweczki, choć nie wykluczone jest użycie żarówki błyskowej stosowanej w fotografii. Żarówka tego typu musi mieć nieco nadpiłowane oszklenie (zwykle plastykowe), aby eksplodowała. Żarówka dobrej wytwórni sama bowiem nie eksploduje.

W korku wyzwalacza znajdują się dwa kontakty (końce przewodów). Jeśli rtęć dostanie się do kontaktów, zwiera je i prąd z baterii płynie do



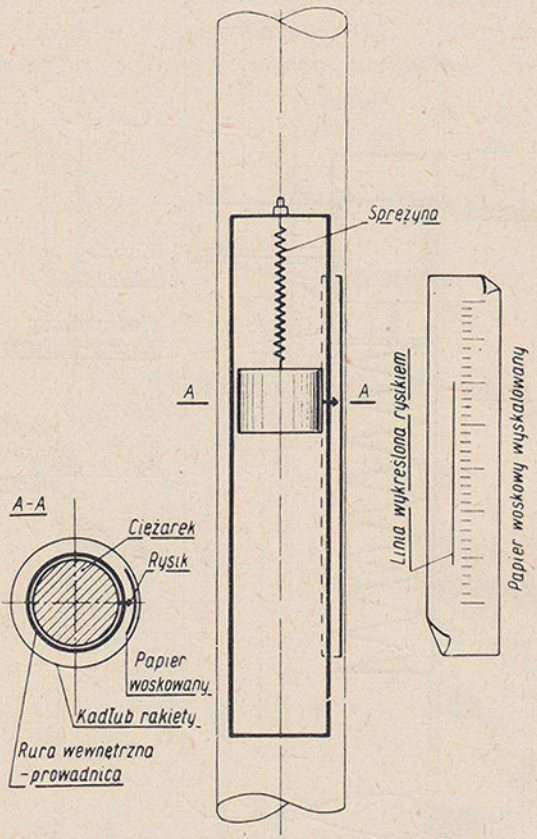
Rys. 153. Schemat działania innego rodzaju wyzwalacza bezwładnościowego

zapłonnika, który zapala ładunek paliwa. Urządzenie niezwykle proste i skuteczne w działaniu, wypróbowane w setkach rakiet, polega na wykorzystaniu siły bezwładności jakiej poddana jest rtęć w naczyńku w chwili, gdy przestaje pracować silnik pierwszego stopnia. Wówczas to nagłe przyhamowanie prędkości rakiety powoduje, że rtęć pod wpływem własnego ciężaru (bezwładności) „spływa" do przodu łącząc tym

samym kontakty przewodów elektrycznych. Odpalenie II stopnia dokonuje się zatem automatycznie [1]).

Jeśli chodzi o szczegóły konstrukcyjne, to średnica kadłuba rakiety podanej na rys. 152 wynosi 19 mm, II stopień osadzony jest na lekki wcisk i uszczelniony kitem. Wszystkie części znajdujące pomieszczenie w rurze zalane są płynnym woskiem, który po zastygnięciu unieruchamia je.

Inny rodzaj wyzwalacza bezwładnościowego pokazano schematycznie na rys. 153. Działa on na identycznej zasadzie co poprzedni, z tym że



Rys. 154. Schemat budowy i działania przyspieszeniografu

zamiast rtęci użyto ciężarka osadzonego na sprężynie. Ciężarek (ołowiany lub stalowy) porusza się w rurce o małej średnicy. Przy starcie na ciężarek działa siła (której kierunek zaznaczono strzałkami) przyciskająca

[1]) Przy zakładaniu wyzwalacza II stopnia zwrócić trzeba uwagę na jego położenie. Jeśliby bowiem nastąpiło zamknięcie obwodu elektrycznego na starcie, mogłoby to spowodować wypadek.

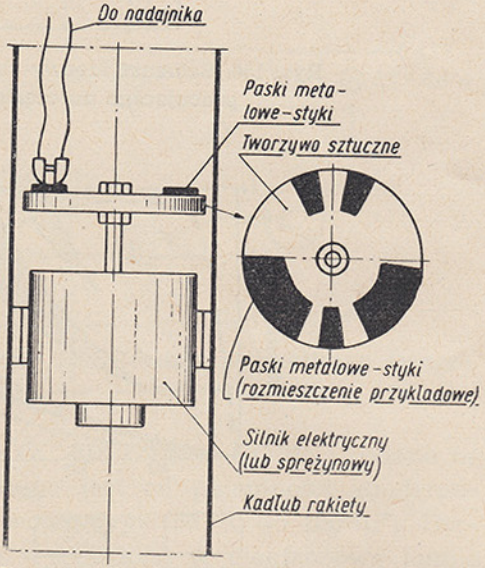
sprężynę. Po ustaniu ciągu I stopnia, ciężarek pod wpływem bezwładności (i dodatkowo z pomocą sprężyny) unosi się do góry, łącząc jednocześnie kontakty wyłącznika, od którego biegną przewody do zapłonnika. Zarówno masa ciężarka, jak i naciąg sprężyny muszą być ustalone doświadczalnie na ziemi, tak aby działały bez zarzutu na starcie. Rozmiary poszczególnych części zależne są od wielkości danej rakiety i co ważne, ciągu jej silnika. Zaznaczyć warto, że oba rodzaje wyzwalaczy można wydatnie zminiaturyzować bez szkody dla ich sprawności działania.

3. Przyspieszeniograf

W celu sprawdzenia, jakim przyspieszeniom ulega nasza rakieta w locie, można wbudować do jej wnętrza prosty przyrząd. Składa się on z cylindra metalowego, w którym zawieszony jest na sprężynie ciężarek zaopatrzony w rysik metalowy (rys. 154).

Cylinder ma wzdłużny otwór zapewniający ruch rysika w dół i górę. Na wewnętrznej ściance kadłuba rakiety przyklejony jest pasek nawoskowanego (lub zadymionego) papieru z naniesioną odpowiednią podziałką w wartościach przyśpieszenia grawitacyjnego g. W locie podczas pracy silnika ciężarek będzie się opuszczał do dołu kreśląc prostą.

Warto zaznaczyć, że nieruchomy przyspieszeniograf ustawiony pionowo wskazuje $+1$ g (czyli 981 cm/sek). Przyrząd, mimo że działanie jego jest nieskomplikowane, wymaga dość precyzyjnej budowy.



Rys. 155. Schemat działania najprostszego urządzenia telemetrycznego

4. Telemetria

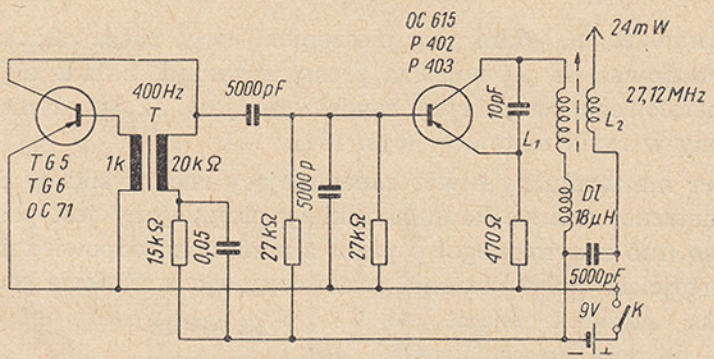
Wykorzystując miniaturowy nadajnik od małych latających modeli zdalnie sterowanych jesteśmy w stanie przekazać określony sygnał z rakiety na ziemię za pomocą urządzenia pokazanego na rys. 155. Będzie to zatem najprostszy układ telemetryczny przekazujący zakodowany sygnał.

Oczywiście można poprzestać na samym ciągłym „buczeniu" nadajnika, ale uzyskanie sygnału, który może oznaczać np. określone liczby lub litery, jest bardziej atrakcyjne i pouczające.

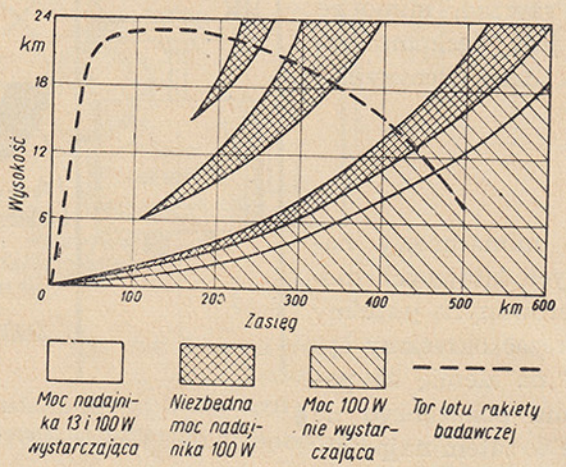
Dysponując krążkiem programowym na którym naklejono w pewnych układach metalowe paski możemy uzyskać dłuższy lub krótszy sygnał

zgodny np. z alfabetem Morse'a. Układ pasków zależny jest od intencji wykonawcy określającego program sygnału. Krążek jest obracany przez mały silnik elektryczny lub sprężynowy.

Jak widać z rys. 155, po tarczy ślizga się kontakt będący zakończeniem przewodów biegnących od nadajnika. Rysunek wskazuje jedynie zasadę działania bez uwzględnienia bliższych danych technicznych, które przekraczają ramy niniejszej pracy. Dodać można jeszcze, że ciężar samego tranzystorowego nadajnika radiowego, wykonanego z części dostępnych w kraju, wynosi około 25 G. Na rys. 156 podano schemat minia-



Rys. 156. Schemat ideowy subminiaturowego nadajnika pracującego na częstotliwości 27,12 MHz



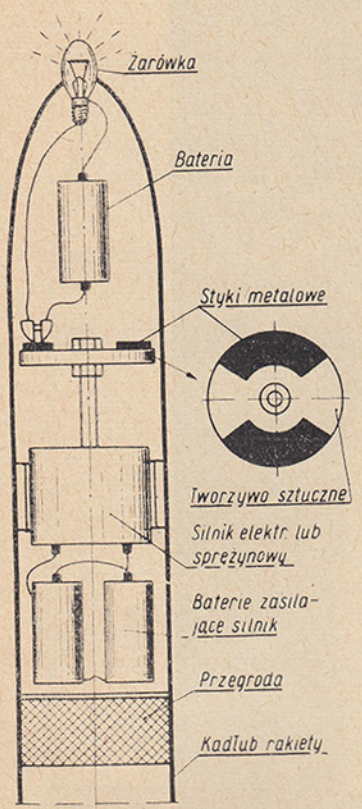
Rys. 157. Moc nadajnika w zależności od wysokości lotu

turowego nadajnika pracującego na 2 tranzystorach, zasilanego z baterii 9 V. Ciężar około 90 G.

Na rys. 157 podano natomiast zakres mocy nadajnika jaka jest potrzebna dla rakiet badawczych.

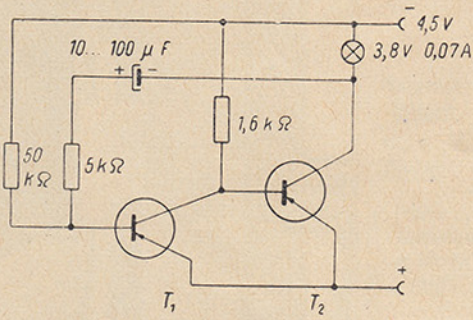
5. Sygnalizacja świetlna

Na podobnej zasadzie co wyżej omówiona, zbudowane jest urządzenie elektryczne służące do sygnalizacji podczas nocnego lotu rakiety. Urządzenie, jak widać z rys. 158, jest umieszczone w pojemniku głowicy. Składa się ono z żarówki, baterii oraz przerywacza napędzanego elektrycznie albo mechanicznie (silnik sprężynowy). Gdy tarcza obraca się, kontakt ślizgając się po niej zwiera lub wyłącza obwód prądu, powodując migotanie żarówki umieszczonej w otworze głowicy. Można nie komplikować konstrukcji i poprzestać na świetle ciągłym, ale takie światło trudniej zaobserwować w nocy na tle gwiazd. Można również wykonać przerywacz tranzystorowy, który jest znacznie lżejszy i dodajmy — nowocześniejszy.



Rys. 158. Wyposażenie głowicy w lampę-migacz

Ideowy schemat przerywacza zbudowa-



Rys. 159. Schemat amatorskiego tranzystorowego migacza

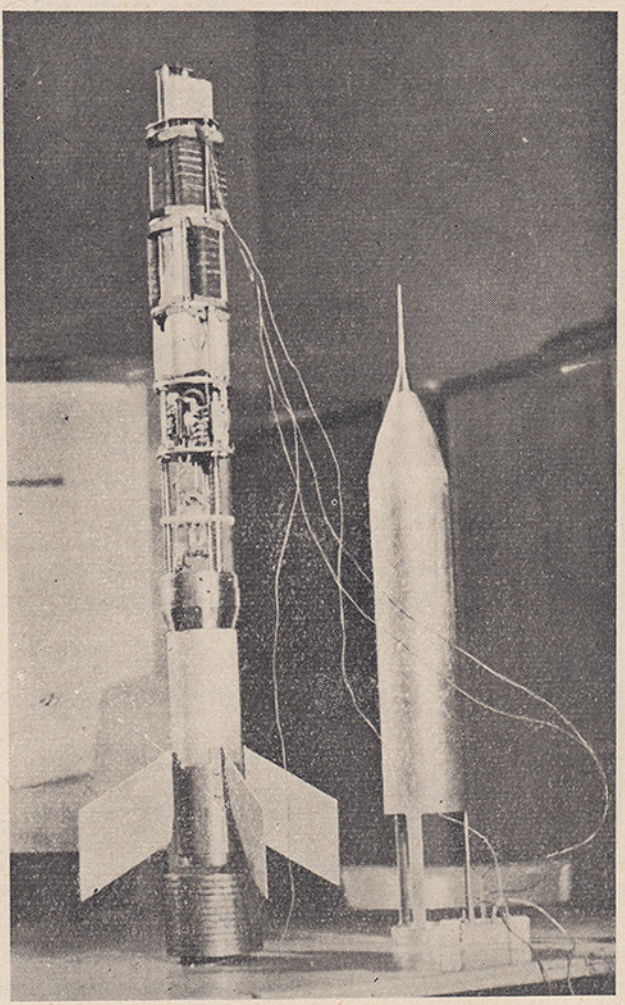
nego na dwóch tranzystorach (T1 — OC 810 i T2 — OC 221) podano na rys. 159. Częstotliwość błysków zależna jest od pojemności kondensatora (stąd podano jedynie wartości orientacyjne od 10 do 100 μF). Bardziej zaawansowane jest urządzenie wyposażone w elektronową lampę błyskową (rys. 160) na rakiecie badawczej zbudowanej w Doświadczalnym Ośrodku Rakietowym w Krakowie.

6. Urządzenia smugowe

Do śledzenia toru lotu i odszukania miejsca upadku rakiety pomocne jest wyposażenie jej w urządzenie smugowe, dymotwórcze, znajdujące pomieszczenie również w części głowicowej. Najprymitywniejszym jego

rozwiązaniem, jak przypominamy sobie z uprzednich rozdziałów, było użycie pudru lub talku w rakiecie startującej z wyrzutni gumowej.

Najprostszym smugaczem, a właściwie wyrzutnią mgły, jest schemat pokazany na rys. 161. Tuż za głowicą mieści się zbiornik z naftą (za-

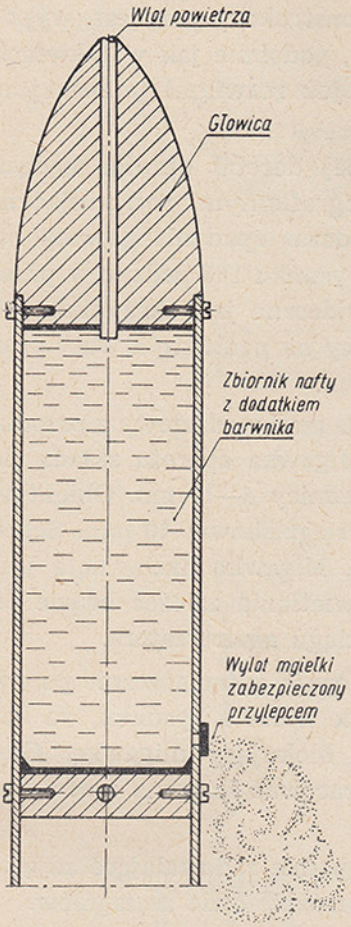


Rys. 160. Rakieta doświadczalna z elektronową lampą błyskową

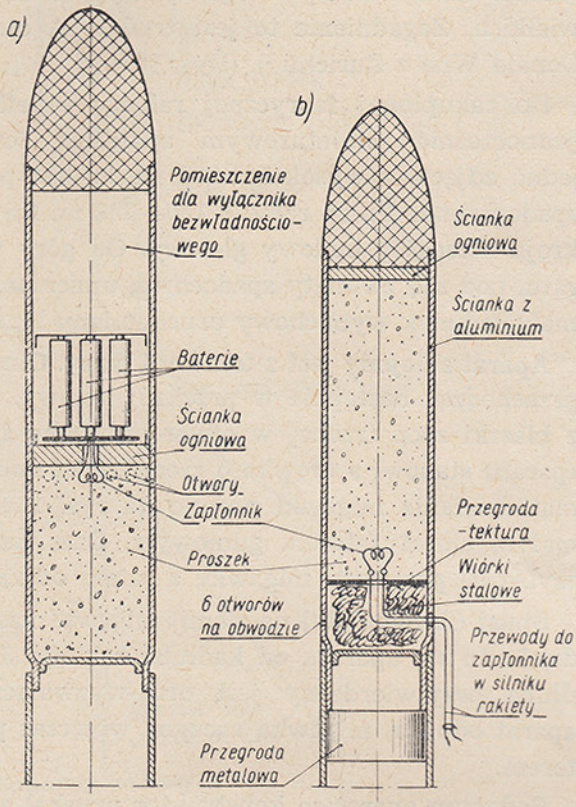
barwioną np. aniliną na czerwono). W głowicy znajduje się otwór wlotowy powietrza o średnicy około ośmiokrotnie większej od bocznego otworu wylotowego (z boku zbiornika). Dane te są orientacyjne i ustalić je można drogą doświadczalną przystawiając np. do otworu wlotowego dmuchawę np. odkurzacz. Z bocznego otworu, podobnie jak z rozpylacza od perfum, wylatywać będzie drobna mgiełka. Zamiast nafty zasto-

sować można dowolną ciecz. Przewaga nafty tkwi przede wszystkim w jej małym ciężarze właściwym.

Dwa inne rozwiązania smugaczy pokazano na rys. 162. Typ *a* zawiera zbiornik z proszkiem, który po zapaleniu wytwarza silny dym (w dowolnie dobranym kolorze). Zapłonnik zasilany jest ogniwami suchymi



Rys. 161. Smugacz wytwarzający barwną mgiełkę



Rys. 162. Smugacze czynne: a) smugacz uruchamiany wyzwalaczem bezwładnościowym, b) smugacz uruchamiany łącznie z zapłonnikiem paliwa rakiety

(baterie tzw. paluszki), a włączenia prądu dokonuje opisany powyżej automat bezwładnościowy-rtęciowy, działający dopiero po starcie.

Typ *b* natomiast przewidziany jest do wytwarzania dymu wraz z odpaleniem rakiety. Przewody zapłonnika proszku, jak widać z rysunku, połączone są z przewodami biegnącymi do zapłonnika silnika rakiety.

W obu rodzajach smugaczy dym wylatuje przez okrągłe otwory rozmieszczone symetrycznie na obwodzie zbiornika. W typie *b* dym przedostaje się przez komorę wypełnioną stalowymi drobnymi wiórkami. Zbior-

niki proszku aluminiowe. A oto skład typowej mieszanki proszkowej dającej przy spalaniu barwę żółtą: 2 części wagowe saletrzanu potasu, 2 części węglanu sodowego i 1 część siarki-pyłu.

7. Aparat fotograficzny

Niezmiernie interesującym zagadnieniem konstrukcyjnym jest wyposażenie małej rakiety w aparat fotograficzny, podobnie jak w rakietach wielkich. Zagadnienie to jest trudne. A oto jak rozwiązał je Szwajcar Donald Wiss z Zurichu [1]). (Rys. 163).

Do zakupionej fabrycznej rakiety świetlnej dorobił głowicę będącą jednocześnie miniaturowym aparatem fotograficznym wykonującym jedno zdjęcie z wysokości 100 m, to jest podczas opadania głowicy na spadochronie. Pułap rakiety 150—200 m. Na rysunku 163 podano w przekroju szczegóły budowy głowicy. Od góry widoczna jest skrzynka aparatu, pod nią zwinięty spadochron umieszczony na poduszce z waty oraz mały ładunek wybuchowy uruchamiany lontem.

Aparat sklejony jest z tektury i balsy. Obrys ma kwadratowy z przodu, przechodząc następnie w przekrój kołowy. Migawka aparatu składa się z blaszki zaopatrzonej w otwór-przysłonę średnicy 4—5 mm. Obiektyw aparatu stanowi soczewka o średnicy 20 mm i ogniskowej 40 mm. Schemat działania migawki podano na rys. 163b. Migawka naciągnięta jest małym amortyzatorem gumowym. Czas naświetlania zależeć będzie od szybkości przesuwu migawki, a zatem od naciągu amortyzatora.

Spust (naciągniętej na ziemi) migawki następuje automatycznie po oddzieleniu się aparatu od kadłuba rakiety. Jak widać z rysunku, do kadłuba przytwierdzony jest drut-wyzwalacz blokujący migawkę. Gdy aparat odpada, migawka zaczyna wówczas pracować ściągana amortyzatorem.

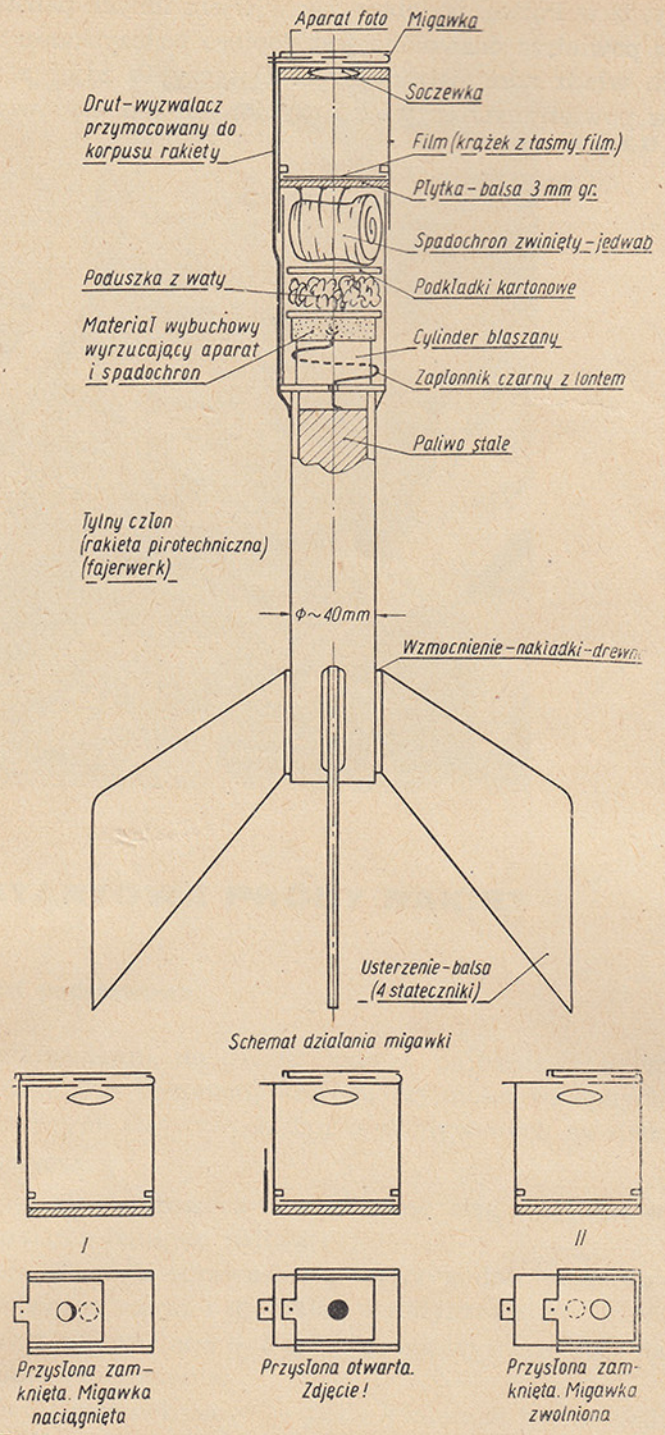
Podanym aparatem konstruktor uzyskał zupełnie zadowalające zdjęcia z wysokości ok. 100 m, na których można rozróżnić dużo szczegółów.

Film do aparatu zakładany i wyjmowany jest w ciemni. Film wycięty w postaci krążka (o średnicy dna aparatu) osadzony jest płasko na balsowej płytce 3 mm grubości. Im bardziej płasko będzie włożona taśma światłoczuła, tym większa możliwość uzyskania poprawnie ostrego negatywu.

Start modelu następował z wyrzutni zaopatrzonej w drewniane prowadnice. Zapłon paliwa (ładunek pirotechniczny) — fabryczny, bezpośredni za pomocą lontu.

---

[1]) Wg miesięcznika „Modell" (NRF) nr 6, 1961.



Rys. 163. a) rakieta z dobudowanym aparatem fotograficznym, b) schemat działania prymitywnej migawki aparatu

Dodać należy, iż w Polsce, podobnie jak w wielu innych państwach fotografowanie z powietrza dozwolone jest dopiero po uzyskaniu zezwolenia odpowiednich władz administracyjnych. Dotyczy to zdjęć z wszelkiego typu statków powietrznych, a więc i czynionych z pokładów rakiet.

ROZDZIAŁ VII

PRZEDSTARTOWE PRÓBY RAKIET

1. Wiadomości podstawowe

Przed przygotowaniami do startu, nawet najbardziej prymitywnych rakiet, konieczne jest dokonanie szeregu czynności wstępnych objętych ogólnie mianem prób statycznych, tzn. wykonywanych na ziemi.

Próby te dotyczą:

a) silnika — gdzie sprawdza się obliczony ciąg, czas spalania i prawidłowość działania ładunku paliwa;

b) usterzenia — gdzie sprawdza się wytrzymałość połączenia stateczników z kadłubem, a nieraz i ich układ aerodynamczny;

c) rusztu — gdzie powinna być sprawdzona wytrzymałość na ciśnienie panujące w komorze spalania;

d) wyposażenia wewnętrznego — gdzie konieczne jest dokładne sprawdzenie funkcjonowania poszczególnych mechanizmów i ich współdziałanie;

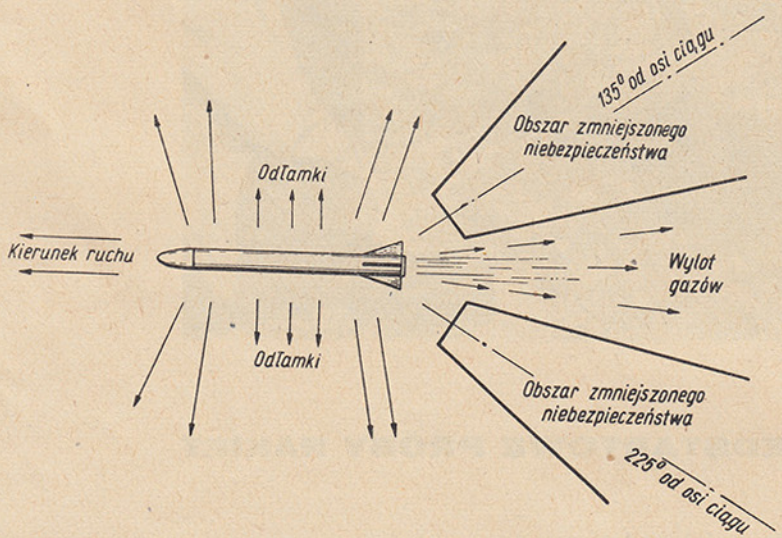
e) zapłonnika — który musi być poddany próbie czy daje wystarczającą temperaturę zdolną zapalić ładunek paliwa;

f) paliwa — którego niewielkie ilości powinny ulec próbnemu spaleniu w celu ustalenia czasu spalania, temperatury itp.;

g) komory spalania — która powinna wytrzymywać określone ciśnienie i temperaturę;

h) wyrzutni — którą trzeba sprawdzić pod względem dokładności ustawienia (kąty), wytrzymałości i połączenia poszczególnych części.

Niezależnie od wyżej wymienionych, zasadniczych elementów sprawdzeniu poddawane są wszystkie pozostałe, aż do baterii zasilających i przewodów włącznie. Próby są przy tym ponawiane wielokrotnie, bo nieraz trudno ustalić jakąś wartość (np. ciągu) przy jednorazowym spa-



Rys. 164. Rakieta eksplodująca na stanowisku doświadczalnym (w położeniu poziomym). Strzałkami zaznaczono możliwe kierunki rażenia odłamkami

leniu ładunku paliwa. Opłaca się zużyć np. pięć zapłonników, aby wiedzieć dokładnie, jak ten najlepszy będzie pracował w chwili startu.

Ogólna zasada przy przeprowadzaniu prób statycznych podobnie zresztą jak i przy starcie brzmi: K a ż d a r a k i e t a j e s t n i e b e z p i e c z n a! Stąd też powstaje konieczność zabezpieczenia się przed ewentualnymi skutkami eksplozji (rys. 164). Zabezpieczyć się można skutecznie przeprowadzając szereg obserwacji z pewnej odległości lub też spoza specjalnych zasłon. Przystąpmy jednak do prób.

Pomiaru ciągu najprostszego silnika z taśmy filmowej można łatwo dokonać stawiając silnik na szalce wagi do listów. Oczywiście na szalce

trzeba umocować uchwyt zabezpieczający silnik przed spadnięciem. Trudność pewną może sprawić odczytanie wartości ciągu (w gramach), gdyż aby zobaczyć małe cyfry na skali wagi trzeba się znacznie zbliżyć do miejsca prób, a to jak mówiliśmy jest niebezpieczne.

Dla przeprowadzenia zatem bezpiecznych prób postępujemy następująco: skalę wagi i języczek malujemy farbą nitro na dobrze widoczne barwy, na przykład: języczek biały na czarnym tle, lub czarny na tle żółtym. Następnie ze sklejki 3 mm grubości wycinamy „przegrodę ogniową" z niewielką szczeliną umożliwiającą obserwację skali wagi. Tak zabezpieczeni możemy obserwować pracę silnika kliszowego, mając pod ręką naczynia z piaskiem i wodą do ewentualnego ugaszenia przerzutu palącego się strzępu celuloidu. Waga ustawiona powinna być na arkuszu blachy, albo na arkuszu tektury polakierowanej tzw. szkłem wodnym, które uodpornia papier od spalenia.

Ponieważ silniki kliszowe wytwarzają dużo gęstego i gryzącego dymu, próby można dokonywać w dobrze wietrzonym pomieszczeniu lub na otwartej przestrzeni zdala od wszelkich zabudowań.

Ważne jest, aby nie przekraczać ilości (metrów) ładunku w podanych rozwiązaniach, gdyż efektu konkretnego to nie da, a zwiększy niebezpieczeństwo rozerwania się ładunku i jego obudowy. Wyniki prób zapisywać warto w podręcznym dzienniku określając np. dzień prób, godzinę, wartość ciągu, ilość paliwa i czas spalania, tak aby dane liczbowe można było jak najpełniej wykorzystać przy starcie prawdziwym.

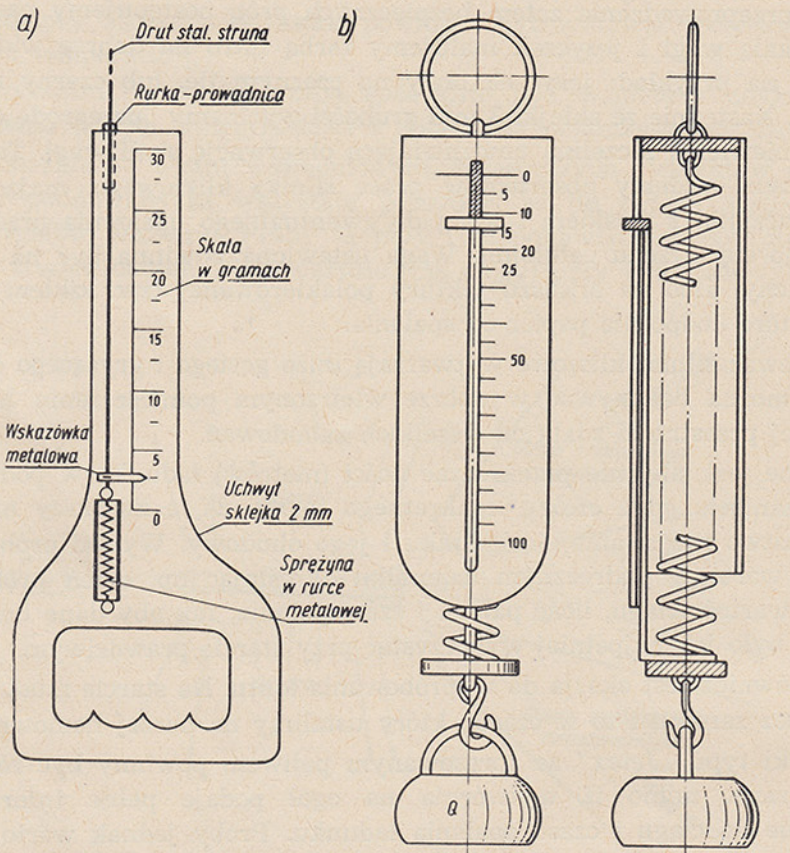
Tu również jest okazja do wypróbowania lontu. Na starcie musi się on palić bez zarzutu i to w czasie, który ustalimy na naszej hamowni.

Silniki typu „Jetex" ze sprasowanym paliwem powinny być również sprawdzane, mimo iż wytwórnia na ogół podaje pełne informacje odnośnie do ciągu i czasu spalania ładunku. Próby jednak warto przeprowadzić, gdyż zyskuje się jeszcze jedno doświadczenie więcej, a dodać trzeba, że przy próbach można się dużo nauczyć. Istnieją bowiem specjaliści wyłącznie poświęcający się opracowywaniu urządzeń testowych i pomiarom przedstartowym.

Jeśli chodzi o paliwa do „Jetexów", to trzeba stwierdzić, że mogą one być niebezpieczne o ile ładunki są umieszczone w samodzielnie sporządzonym silniku, a nie fabrycznym, który odpowiada wszelkim wymogom bezpieczeństwa.

Szereg ciekawych doświadczeń można przeprowadzić z silnikami typu „Jetex", zarówno na hamowni wyposażonej w dynamometr sprężynowy. Na przykład pomiar ciągu. Dynamometr nie trudno wykonać. Trzeba jedynie umieć zwinąć sprężynę z drutu stalowego lub dysponować gotową i odpowiednio ją wyskalować zawieszając odważniki, np. od 1 do 250 G, zaznaczając odchylenie wskazówki co posłuży do wykonania

pełnej skali. Najprostszy dynamometr własnej roboty podano na rys. 165. Dynamometr do 100 G można zakupić w placówkach CEZAS zaopatrujących pracownie szkolne w różne pomoce naukowe — cena 14 zł.

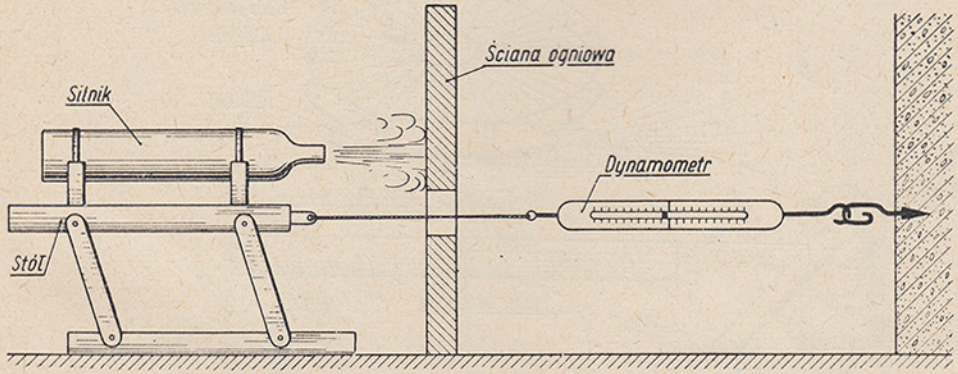


Rys. 165. a) dynamometr ręczny, możliwy do samodzielnego sporządzenia. Wskazania w zakresie 0—50 gramów w zależności od zastosowanej jakości sprężyny, b) dynamometr fabryczny w najprostszym wykonaniu

Jak posługiwać się dynamometrem przy pomiarze ciągu nie tylko „Jetexów" obrazują rysunki 166, 167. Jak widać, w obu przypadkach miejsca przeznaczone do odczytania wskazań dynamometru oddzielone są ścianą ogniową — bezpieczeństwa. Przy silnikach omawianego typu tworzyć ją może sklejka 5 mm lub deska 5—10 mm grubości. Przy silnikach o ciągu rzędu 10—50 kG ścianą ogniową będzie płyta stalowa lub ścianka żelbetu gęsto uzbrojonego drobną siatką.

Na rysunku 166 widoczne jest takie usytuowanie dynamometru, w którym konieczne jest bezpośrednie odczytanie wyniku, podczas gdy urządzenie na rys. 167 zaopatrzone jest w dynamometr z rysikiem kreślą-

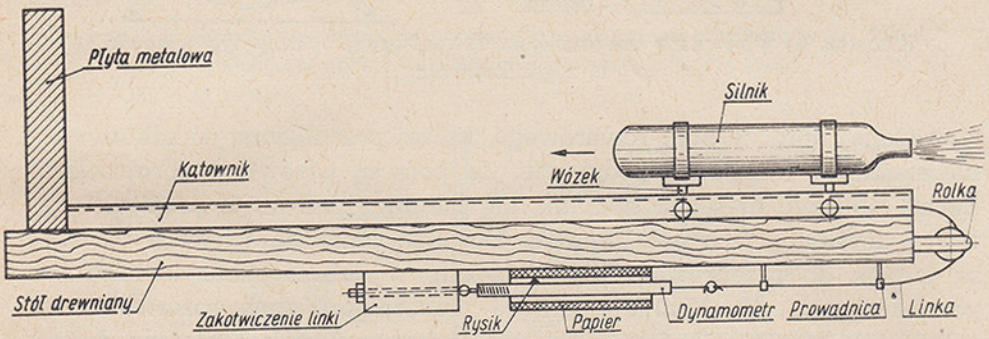
cym ślad na wyskalowanym (w G lub kG) papierze. Urządzenie takie daje podwójną korzyść: zwiększenie bezpieczeństwa — nikt nie musi zbliżać się do stołu pomiarowego — oraz dokładność odczytu, o ile naturalnie dynamometr został właściwie wyskalowany.



Rys. 166. Pomiar ciągu silnika rakietowego za pomocą dynamometru. Silnik spoczywa na stole z wahliwymi podporami przytwierdzonymi do płyty fundamentowej

Rysunki podano schematycznie, tłumacząc jedynie zasadę działania. Szczegóły wykonawcze zależą od możliwości materiałowych i pomysłowości wykonawców.

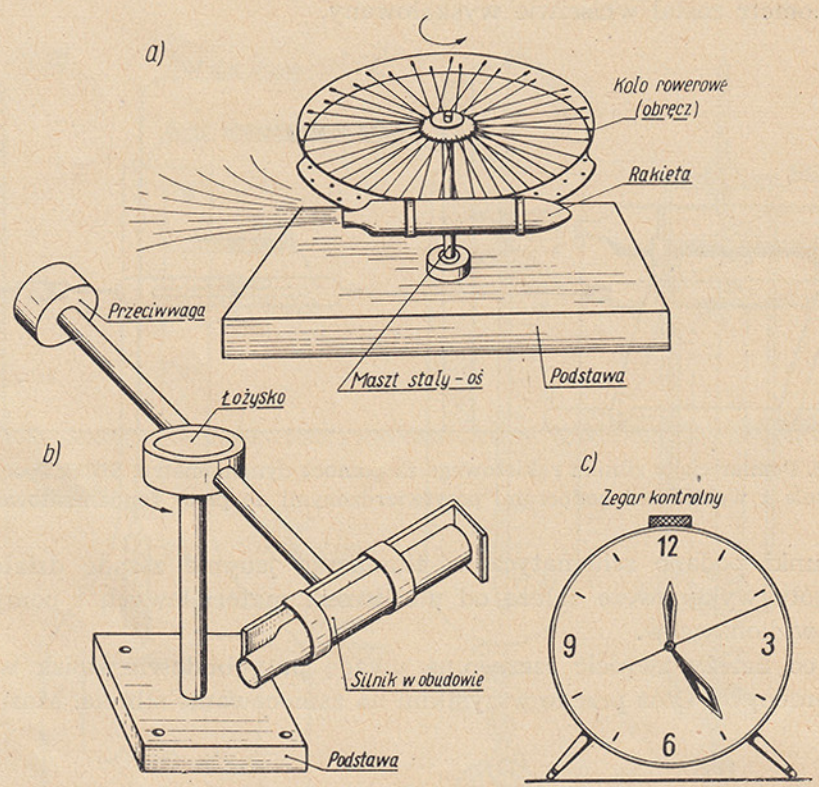
Na co należy zwrócić szczególną uwagę przy budowie stoisk wyżej wymienionych. Otóż przede wszystkim na zamocowanie silnika. Musi ono



Rys. 167. Pomiar ciągu silnika umieszczonego na wózku. Zapis wartości pomiaru na papierze wyskalowanym lub milimetrowym

być pewne i wykluczać jakiekolwiek luzy na boki. Ruch silnika odbywać się może wyłącznie do przodu, tak jak to ilustrują powyższe rysunki. Silnik podczas pracy ulega wibracji, co też trzeba mieć na względzie ustalając układ obejm (kołnierzy) mocujących silnik. Warto zawsze pamiętać, że ciąg nawet najmniejszego silnika jest zawsze 100-krotnie większy niż przewidywaliśmy!

Do określenia ciągu, szczególnie przy silnikach o bardzo małej jego wartości (do 200 G włącznie) można posłużyć się hamownią wirówką pokazaną na rys. 168. Silnik jest tu po prostu przymocowany do dobrze



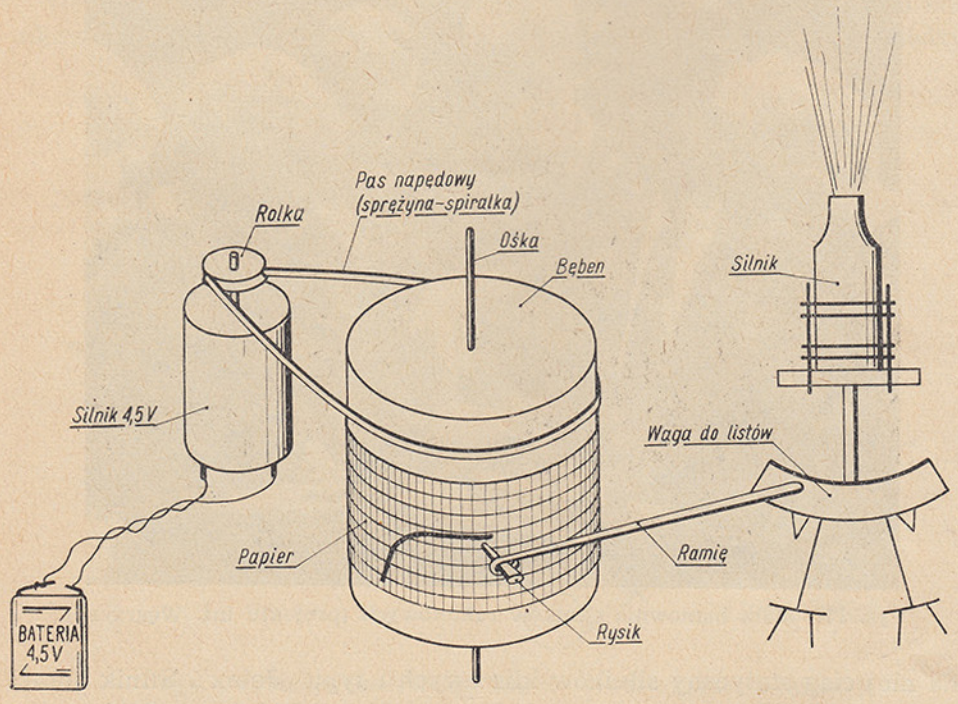
Rys. 168. a) wirówka z obręczy koła rowerowego, b) inny typ wirówki, c) zegar kontrolny

wyważonej obręczy koła rowerowego, której przedłużona oś zakotwiczona została w masywnej podstawie. Za pomocą wirówki i obrotomierza można obliczyć prędkość spalania się ładunku paliwa. Z prędkości kątowej uzyskamy wartość impulsu. Doświadczenia na wirówce możliwe są jednak do przeprowadzenia wyłącznie w dobrze zabarykadowanym pomieszczeniu, gdyż istnieje zawsze niebezpieczeństwo rozerwania się całego urządzenia wskutek drgań, małej precyzji wykonania, np. łożysk lub złego wyważenia. Kontrola wizualna jest tu zupełnie wykluczona, dlatego oko ludzkie zastąpione musi być kamerą fotograficzną, a jeszcze lepiej filmową.

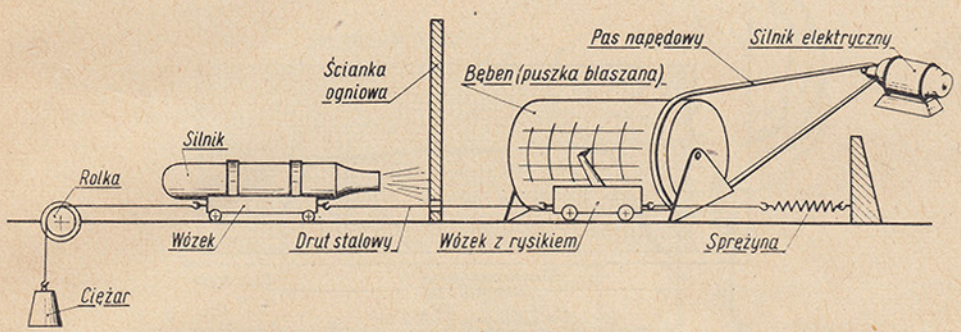
Jeśli np. obok wirówki ustawimy zegar z sekundomierzem i wprawimy silnik w ruch uruchamiając jednocześnie aparat filmowy (naturalnie odległościowo), to na taśmie filmowej uzyskamy między innymi dokładny czas pracy silnika. Zapłon paliwa odbywa się drogą elektryczną uprzednio opisaną, a uruchomienie fotokamery może nastąpić przy użyciu

bądź wyzwalacza elektromagnetycznego, mechanicznego bądź też próżniowego.

Wytrzymałość obudowy ładunku paliwa (komory spalania) można sprawdzić za pomocą np. smarownicy samochodowej lub innej sprężarki



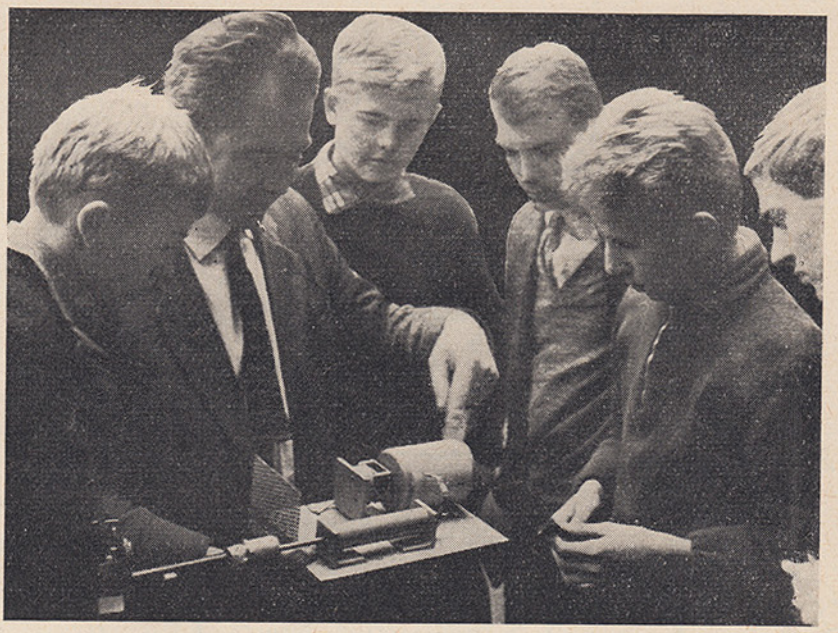
Rys. 169. Schemat urządzenia do pomiaru i zapisu ciągu silników typu „Jetex". Całość spoczywa na wspólnej podstawce drewnianej



Rys. 170. Inny rodzaj urządzenia do zapisu ciągu małych silników rakietowych

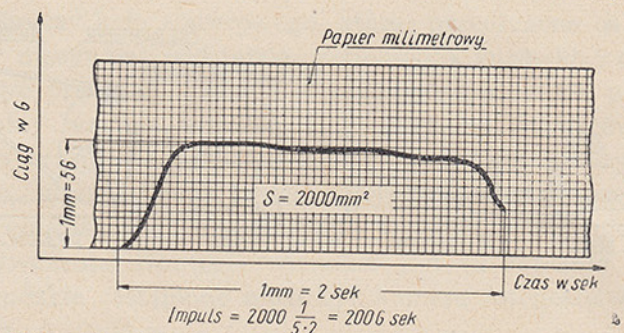
powietrznej. Przy małych silnikach wystarczy nieraz pompka samochodowa, a dla zbadania działania np. smugacza posłużyć się można odkurzaczem włączając przewód tłoczący powietrze do otworu głowicy wypełnionej środkiem dymotwórczym.

Bardzo pouczające i łatwe do zbudowania są hamownie pokazane na rys. 169, 170 i 171. Składa się ona z wagi do listów, okrągłej puszki po kawie sproszkowanej i małego silnika elektrycznego (4,5 V). Mierzymy



Rys. 171. Mała hamownia silników rakietowych (projektu inż. Węgrzyna)

na niej ciąg statyczny silników kliszowych i typu „Jetex". Silnik obraca za pomocą pasa sprężynującego bęben-puszkę, na którym nawinięty jest wyskalowany papier. Ramię będące przedłużeniem wskazówki wagi zaopatrzone jest w rysik (tuszowy lub od długopisu) kreślący ślad będący



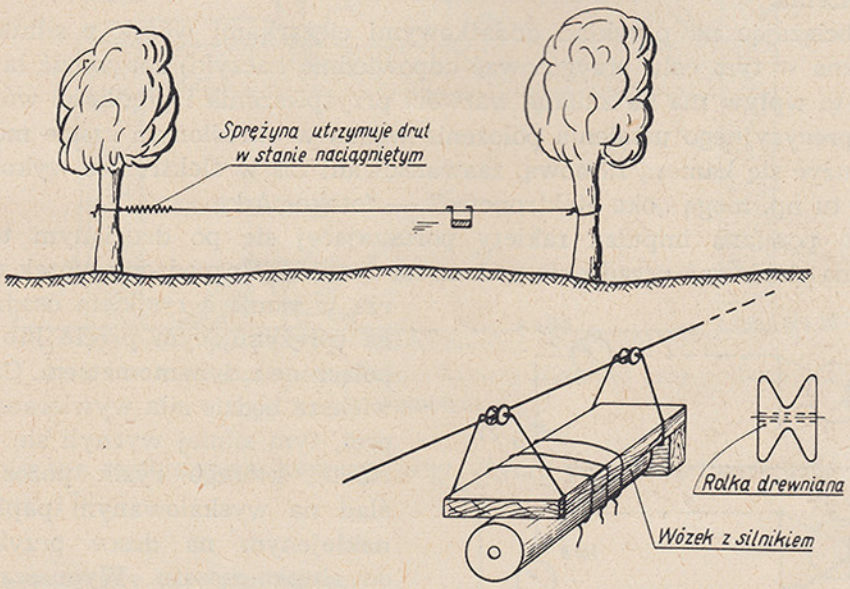
Rys. 172. Obliczanie impulsu na podstawie wykresu

krzywą ciągu. Krzywa ta pozwala określić zależność ciągu od czasu spalania. Średnica koła napędowego silnika do średnicy bębna (stosunek przełożenia) musi być tak dobrana, aby bęben obrócił się o 360° podczas całkowitego spalania się ładunku paliwa. Innego rodzaju rozwiązanie

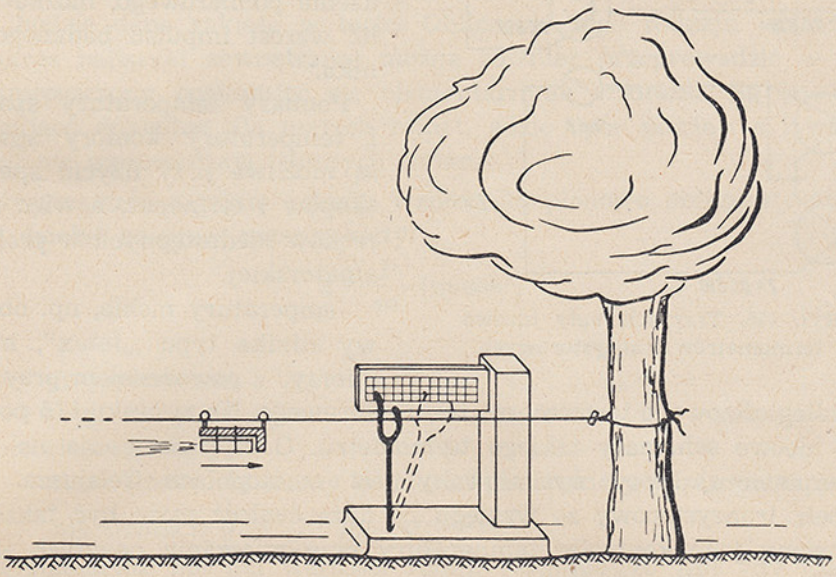
hamowni pokazane jest na rys. 170. Zamiast wagi zastosowany tu jest dynamometr sprężynowy.

Na rysunku 172 podano prosty sposób obliczenia impulsu na podstawie wykresu zrobionego na hamowni. Podstawą do obliczenia jest powierzchnia zawarta między osiami wykresu, a krzywą ciągu.

Niezależnie od prób statycznych istnieje możliwość wypróbowania silników o małym ciągu na urządzeniu pokazanym na rys. 173. Między



Rys. 173. Pomiar małych silników na otwartej przestrzeni



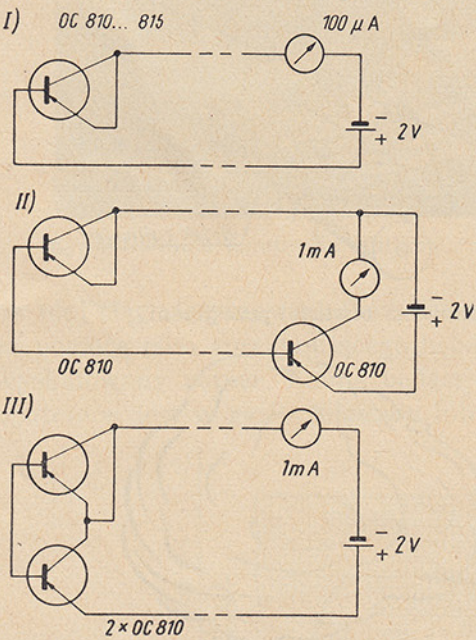
Rys. 174. Urządzenie pomiarowe dla małych silników rakietowych

dwoma drzewami (lub masztami) napięty jest drut stalowy. Po drucie ślizga się prymitywny wózeczek złożony z dwóch deseczek, odcinka drutu, dwóch rolek drewnianych i przywiązanego silnika. Po uruchomieniu silnika wózeczek porusza się po drucie. Aby drut (średnicy 0,5 mm) był zawsze napięty, do jednego z końców przymocowujemy silną sprężynę, jak podano na rys. 173.

Dzięki temu prostemu urządzeniu istnieje możliwość pomiaru przyspieszenia.

Obciążając na przykład dodatkowymi ciężarkami wózek z silnikiem (można w tym celu przygotować odpowiednie haczyki) sprawdzić łatwo, jaki to wpływ ma na zmianę wartości przyspieszenia i prędkości wózka. Do precyzyjnego ustalenia położenia wózka w określonym czasie można posłużyć się kamerą filmową, zaawansowani zaś w elektronice wykorzystać tu np. mogą „oko elektronowe" — fotokomórkę.

Do pomiaru impulsu rakiety poruszającej się po drucianym torze można zbudować urządzenie podane na rys. 174. Rozpędzony wózek uderza w ramię z rysikiem osadzone na sprężynującym pręcie lub też połączone z dynamometrem. Czym większa będzie siła wywierana na pręt, tym silniej wychyli się całe ramię, którego rysik pozostawi ślad na wyskalowanym papierze naklejonym na desce przybitej do słupka-masztu. Wypuszczając wózek z różnej odległości od urządzenia pomiarowego, można ustalić wzrost impulsu badanego silnika.

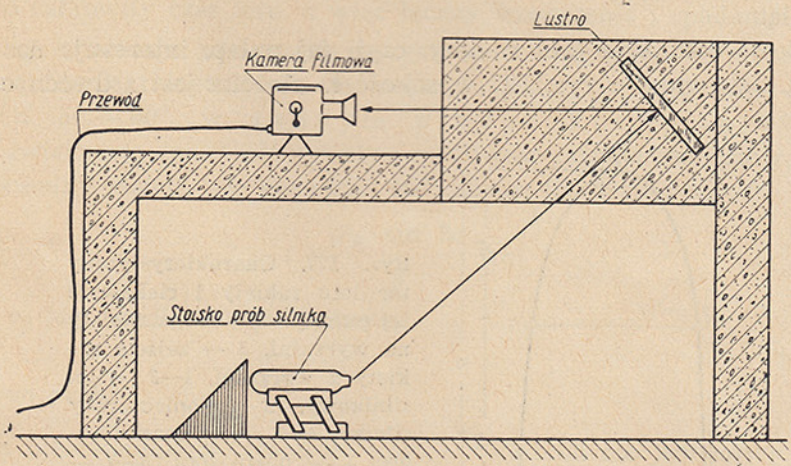


Rys. 175. Trzy schematy ideowe termometrów tranzystorowych

Pomiary temperatury spalania i temperatury komory spalania są możliwe przy użyciu spektroskopów i termopar, a więc przyrządów niedostępnych w praktyce amatorskiej.

emperatury niskie, np. obudowy silnika typu „Jetex", można mierzyć z powodzeniem przy użyciu odległościowego termometru tranzystorowego. Na rysunku 175 podano trzy ideowe schematy takiego termometru. Odczyt następuje na miliamperomierzu, który wyskalowany jest w stopniach Celsjusza. Termometr tranzystorowy ze względu na dużą czułość może być także zastosowany jako kontroler temperatury przy mieszaniu pewnych składników paliwa itp.

Jak już wspomniano, odczytywanie pomiarów różnych przyrządów w czasie prób statycznych silników rakietowych odbywa się drogą pośrednią, do której najlepiej nadaje się kamera filmowa. Przykładowe



Rys. 176. Bezpieczne umieszczenie kamery filmowej przy próbach na hamowni

bezpieczne usytuowanie kamery, przy użyciu płaskiego lustra pokazano na rys. 176.

2. Teoretyczny tor lotu rakiety

Każdy po dokonaniu prób naziemnych chciałby skalkulować, jakie osiągi mieć będzie dana rakieta w locie. Obliczenia tego rodzaju wchodzące w zakres balistyki zewnętrznej można również przeprowadzić w sposób uproszczony posługując się elementarnymi wzorami. Są one wystarczająco dokładne dla małych rakiet, gdzie opór powietrza i wpływ wiatru nie wprowadzają istotnych zmian.

Przyspieszenie z jakim rakieta wznosi się pionowo obliczymy znając ciąg i dzieląc go przez masę rakiety:

$$a = \frac{P}{m} \text{ [m/sek}^2\text{]}$$

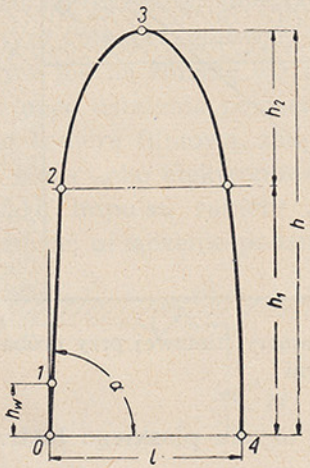
gdzie:

a — przyspieszenie,
P — ciąg,
G — ciężar rakiety,
m — masa (masę obliczamy dzieląc ciężar rakiety przez przyspieszenie ziemskie $g = 9{,}81$ m/sek^2; $m = \frac{G}{g}$.

Przyspieszenie nie ma wartości stałej. Najmniejsze jest gdy rakieta startuje, wówczas jest ona najcięższa (kto obserwował starty wielkich

rakiet, np. na kronikach filmowych, ten miał możność zapewne ze zdziwieniem oglądać jak powoli rozpoczynają start olbrzymy ważące setki tonn). Największe przyspieszenie jest wówczas, gdy ubywa paliwa, a więc w końcowej fazie lotu silnikowego, zakładając, że ciąg ma wartość stałą.

Wysokość całkowita lotu rakiety, czyli jej pułap, interesuje nas najbardziej. Jak widać z rys. 177 wysokość ta złożona jest z dwóch odcin-



Rys. 177. Charakterystyczny tor lotu rakiety i ciekawsze jej punkty: *0* — droga rakiety na wyrzutni, *1* — zejście rakiety z wyrzutni, *1—2* — lot silnikowy, *2* — koniec pracy silnika, *2—3* — lot bezsilnikowy, *3* — pułap lotu, *3—4* — faza spadania

ków: lotu silnikowego i bezwładnego. Wysokość h_2 obliczymy posługując się znanym wzorem na wysokość rzutu ukośnego (bez uwzględnienia oporu powietrza):

$$h_2 = \frac{v^2}{2g} \text{ [m]}$$

gdzie: v oznacza prędkość rakiety w końcowej fazie lotu silnikowego w m/sek.

Wysokość jaką rakieta uzyskuje w locie silnikowym (h_1) można w przybliżeniu obliczyć posługując się następującym wzorem:

$$h_1 = \frac{1}{2} \cdot a_{śr} \cdot t^2 \text{ [m]}$$

gdzie:

t — znany czas pracy silnika,

$a_{śr}$ — średnie przyspieszenie w locie silnikowym

$$a_{śr} = \frac{a_0 + a_2}{2} \; ; \; a_0 = \frac{P - G_0}{G_0} \cdot g; \; a_2 = \frac{P - G_2}{G_2} \; g$$

gdzie G_0 — ciężar rakiety + paliwa, G_2 — ciężar rakiety.

Wysokość całkowitą łatwo znaleźć wykonując działanie:

$$h = h_1 + h_2$$

Czas lotu (T) obliczamy następująco:

$$T = \sqrt{\frac{8h}{g}}$$

Jest to całkowity czas lotu, a więc łączny wznoszenia i spadania.

Zasięg interesuje nas przede wszystkim ze względów bezpieczeństwa. Żelazną regułą rakietnictwa amatorskiego jest: start pod kątami rzędu 60 — 80°, w żadnym przypadku nie płaskimi, które zwiększają donośność rakiety i możliwość rażenia osób postronnych. Maksymalny zasięg daje kąt około 45°. Zasięg (l) otrzymamy:

$$l = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 2\alpha}{g} \text{ [m]}$$

gdzie v_0 jest prędkością początkową.

3. Teren prób

Wybór odpowiedniego terenu do prób z rakietami nie jest łatwy jak by się na pozór wydawało. Zsumujmy podstawowe warunki, jakim musi odpowiadać to miejsce. Powinno być oddalone od wszelkich zabudowań, lasów i pól porosłych zbożami. Umożliwiać dobrą widoczność we wszystkich kierunkach. Idealna byłaby pustynia piaskowa lub łąka z niskopienną roślinnością. Wielkość danego terenu zależy od rodzaju startujących rakiet. Można zgrubsza przyjąć, że każde 100 m pułapu wymaga dwa razy większej średnicy obranego terenu. Jeśli zatem nasza rakieta ma sięgać np. 300 m wysokości, to średnica terenu prób powinna wynosić średnio $300 \cdot 2 = 600$ m. Chodzi w tym przypadku o zabezpieczenie się przed nieprzewidzianym rozrzutem, rakiety są bowiem niesterowane i pewien margines bezpieczeństwa jest nieodzowny. Pamiętać o tym trzeba nawet przy starcie rakiet z wyrzutni gumowej.

A oto kilka praktycznych wskazówek przy urządzaniu terenu próbnych startów.

— Miejsce startu wybieraj tak, aby wyrzutnia pochylona była w stronę podwietrzną — start pod wiatr.

— Miejsce startu od ośrodka dyspozycyjnego powinno być oddalone co najmniej o $^1/_5$ pułapu (np. pułap 100 m, odległość 20 m).

— Upewnij się czy nikt nie będzie korzystał z wybranego terenu gdy teren nie jest strzeżony; konieczne jest ustawienie tabliczek ostrzegawczych.

— Start rakiet musi odbywać się wyłącznie za zgodę władz dysponujących danym terenem. Do czasu wydania specjalnych zarządzeń, starty na lotniskach APRL zgłaszane być muszą zawiadowcom lotnisk i dokonywane za ich zezwoleniem.

4. Organizacja startu

Pełne powodzenie prób zależy od sprawnej ich organizacji. Organizacją zajmuje się zazwyczaj zespół ludzi, którzy rozdzielają między sobą poszczególne funkcje. Najważniejszy jest tu oczywiście wybór kierownika odpowiedzialnego za całość przedsięwzięcia. Zasadniczo rozróżnia się następujące funkcje:

Kierownik — główny komisarz. Dysponuje wszelkimi czynnościami na polu startowym. Nic nie może być przedsięwzięte bez jego decyzji. Zajmuje miejsce w „punkcie dowodzenia" stąd kieruje całą akcją. Wyposażony jest w lornetę, urządzenia sygnalizacyjne optyczne lub dźwiękowe itp.

Komisarz do spraw bezpieczeństwa — odpowiedzialny jest za prawidłowe stosowanie przed, w czasie i po starcie wszelkich urządzeń do tego przewidzianych. Instruuje pozostałych członków zespołu, jak mają postępować, aby nie narazić się na niebezpieczeństwo. Dopiero po stwierdzeniu przez niego, że wszystko w porządku główny komisarz daje sygnał do rozpoczęcia startu.

Inspektor paliwa. Ustala prawidłowość napełnienia ładunku paliwa.

Komisarz porządkowy — odpowiedzialny jest za cały teren startu, a zatem za jego zabezpieczenie przed przypadkowymi widzami, którzy muszą znajdować się w przewidzianej strefie ochronnej. Często funkcję tę pełni komisarz d/s bezpieczeństwa.

Oczywiście ilość osób zależy od rozmiarów prób, a także od liczebności danego zespołu. Wymienione wyżej funkcje zaliczamy do kierowniczych i kontrolujących. Taki porządek panuje również przy odstrzałach rakiet wielkich. A oto lista dalszych funkcji.

Startowy — jedyny człowiek dysponujący jedynym kluczem od tablicy rozdzielczej i mający prawo uruchomić zapłon rakiety.

Napełniacz — napełnia rakietę paliwem tuż przed startem.

Montażysta — ustawia rakietę na wyrzutni.

Obserwatorzy — określają tor lotu rakiety przez dokonanie odpowiednich pomiarów, przekazując wyniki do „punktu dowodzenia".

Grupa pomiarowa. Odpowiedzialna jest za dokonanie prawidłowych pomiarów lotu rakiety od chwili startu do upadku. Pracują w „punkcie dowodzenia".

Sanitariusz — udziela pierwszej pomocy, dysponując podręczną apteczką.

Pełny skład osobowy konieczny jest szczególnie na zawodach, jakie rozgrywać mogą poszczególne zespoły. Zawody tego rodzaju przeprowadzać można ustalając na przykład różne kategorie rakiet z różnymi obciążeniami.

Na zawodach w Colorado Springs (USA) w latach 1959—62 praktykowano obciążenie 1 uncjowe (28,35G) w postaci walca wkładane do głowicy rakiety zawodniczej. Dla informacji najlepszy wynik w tej kategorii z podanym obciążeniem wyniósł 112 m wysokości.

Inną kategorię mogą tworzyć rakiety wielostopniowe (rekord USA — 580 m), a jeszcze inną te, które dysponują wyposażeniem specjalnym, bądź oryginalnymi rozwiązaniami technicznymi.

Wracając do organizacji startu zwrócić trzeba uwagę, że aby wszystkie osoby spełniały należycie swoje funkcje, konieczne jest opracowanie regulaminu, bodaj skrótowego, który jasno określi poszczególne czynności. Regulamin taki musi być jednoznaczny i przejrzysty.

Cały przebieg startu dzieli się zasadniczo na: przygotowania przedstartowe, odpalenie rakiety, badania jej lotu i czynności postartowe.

Dla ułatwienia kontroli i zebrania istotnych doświadczeń konieczne jest prowadzenie „dziennika" startowego, gdzie odnotowane będą wszelkie czynności i dane dotyczące startu rakiety, lub też zainstalowanie magnetofonu.

Pamiętać trzeba iż tylko właściwa organizacja startu prowadzi do zachowania bezpieczeństwa i umożliwia zebranie niezbędnych w dalszej pracy doświadczeń.

5. Bezpieczeństwo

Podstawą przeprowadzania wszelkich prób w rakietnictwie amatorskim jest zachowanie przepisów bezpieczeństwa. Nie ma bowiem rakiet absolutnie bezpiecznych! Wiadomo powszechnie, że nieumiejętne wyrzucenie kamienia z procy spowodować może wypadek, a cóż dopiero gdy mamy do czynienia z rakietą.

Mgr inż. J. Walczewski, wybitny specjalista z zakresu rakietnictwa w Polsce, tak pisze w swoim skrypcie: [1])

„Wypadki nie są nieuniknione — można im zapobiec przez unikanie czynności szczególnie niebezpiecznych i ścisłe przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa przy wszelkich czynnościach. Dlatego pierwszym krokiem każdego, kto pragnie zajmować się małym rakietnictwem, musi być dokładne zapoznanie się z zagrażającymi niebezpieczeństwami i sposobami ich unikania. Z tego wyniknie, co wolno, a czego nie wolno robić w rakietnictwie amatorskim".

Powtarzam jeszcze raz, że spraw tych nie wolno lekceważyć. Jest to nie tylko obowiązek moralny wobec siebie i współobywateli. Za spowodowanie wypadków grozi odpowiedzialność karna. Szereg artykułów kodeksu karnego przewiduje kary zarówno za nie-

[1]) „Podstawowe wiadomości z małego rakietnictwa" wyd. LPŻ 1961 r.

umyślne spowodowanie strat materialnych lub uszkodzenie ciała, jak i za lekkomyślne narażanie zdrowia i życia ludzkiego.

Przytoczę tu dwa artykuły:

Art. 215 par. 1. „Kto sprowadza niebezpieczeństwo pożaru, zalewu, zawalenia się budowli albo katastrofy w komunikacji lądowej, wodnej lub powietrznej — podlega karze więzienia".

Art. 215 par. 2. „Jeżeli sprawca działa nieumyślnie — podlega karze aresztu do roku lub grzywny".

Art. 242 par. 1. „Kto naraża życie człowieka na bezpośrednie niebezpieczeństwo — podlega karze więzienia do lat 3".

W obu artykułach chodzi więc nie tylko o zaistnienie nieszczęśliwego wypadku, ale także o spowodowanie możliwości jego zaistnienia. A to przecież ma miejsce przy zaniedbaniu przepisów bezpieczeństwa.

Niżej podaję klasyfikację niebezpiecznych wypadków, spotykanych w małym rakietnictwie, oraz środki zapobiegania. Te ostatnie niechaj mają charakter zakazów i nakazów. Przegląd opracowano zarówno na podstawie danych zagranicznych, jak i analiz bezpieczeństwa pracy, przeprowadzanych w Komórce Techniki Rakietowej AGH w Krakowie oraz Oddziale Krakowskim Polskiego Towarzystwa Astronautycznego.

Typowe wypadki niebezpieczne

1. Wybuch lub pożar przy przygotowywaniu materiałów pirotechnicznych. Jest to wypadek najgroźniejszy i pociągający najwięcej ofiar przy pracach amatorskich.

Ogólnie biorąc, spalanie materiałów pirotechnicznych łączy się nie tylko z powstaniem płomienia o wysokiej temperaturze, ale także z rozrzuceniem części materiału na dużej przestrzeni, co tworzy oddzielne ogniska. Zapalenie materiałów pirotechnicznych nawet w bardzo małej ilości wywołuje niebezpieczeństwo uszkodzenia ciała zwłaszcza oczu — przy większych ilościach nieuniknione jest powstanie pożaru.

Najniebezpieczniejsze czynności:

a) Wykonywanie (mielenie, mieszanie, stapianie) paliw stałych. Zapłon może tu nastąpić zarówno od ognia otwartego (palenisko, papieros), od iskry (elektrycznej, lub pochodzącej z uderzenia metalu o metal), jak i może być wynikiem reakcji chemicznych, zachodzących w paliwie, podgrzania paliwa, lub zgniecenia cząstek paliwa. Niektóre substancje, jak np. proch chloranowy, są czułe na uderzenie lub zgniecenie;

b) Wykonywanie zapłonników. Tutaj dodatkowo źródłem zapłonu może być prasowanie prochu lub lutowanie końcówek przewodów elektrycznych;

c) Ładowanie paliw do komory spalania i montaż zapłonników. Przy tych operacjach zapłon jest szczególnie niebezpieczny, gdyż spalanie w zamkniętej przestrzeni (komora) ma charakter gwałtowny;

d) Przechowywanie paliw.

Środki zapobiegawcze

Wyeliminowanie prac pirotechnicznych z zakresu prac amatorskich. W wyjątkowych przypadkach, gdy prace takie są przeprowadzane pod fachowym nadzorem i pod opieką fachowych instytucji, stosuje się:

— ochrony osobiste w postaci osłon, szczególnie twarzy i oczu,

— stosowanie jedynie grzejników elektrycznych, osłoniętych blachą,

— zabezpieczenie p/pożarowe lokalu,

— ścisłe przestrzeganie receptury.

2. Nieoczekiwane uruchomienie silnika. Jeśli silnik rozpocznie pracę w chwili, gdy przed wylotem dyszy znajduje się człowiek, może nastąpić poważne poranienie i poparzenie, a w wypadku rakiet ciężkich, nawet pozbawienie życia.

Przyczyny:

— omyłkowe włączenie zapłonu w czasie, gdy obsługa znajduje się jeszcze przy wyrzutni,

— przy użyciu zapłonników niskonapięciowych — zapalenie zapłonnika przez prąd indukcyjny, prąd błądzący, lub elektryczność, zmagazynowaną w przewodach instalacji zapłonowej, jak w kondensatorze.

Środki zapobiegawcze:

— łączenie instalacji ze źródłem prądu dopiero wówczas, gdy obsługa w całości przeszła na stanowisko uruchamiania;

— zakładanie instalacji zapłonowej w ostatniej chwili, po zakończeniu wszelkich innych czynności;

— nie stosowanie zapłonników niskonapięciowych;

— nie wykonywanie prób w pobliżu urządzeń, wytwarzających silne pole elektromagnetyczne;

— zwieranie przewodów instalacji zapłonowej w czasie łączenia ich z przewodami zapłonnika.

3. Opóźniony zapłon silnika. Przy nie wypróbowanej konstrukcji silnika może się zdarzyć, że zapłon nastąpi z dużym opóźnieniem. Jeśli nieostrożny eksperymentator sądząc, iż zapłon w ogóle nie nastąpił, wcześniej podejdzie do silnika, może to mieć dla niego tragiczne skutki.

Środki zapobiegawcze:

— niepodchodzenie do silnika w razie nieudanego zapłonu; demontaż silnika można przeprowadzać dopiero po trzykrotnej próbie zapłonu, odczekaniu kilku minut, odłączeniu przewodów zapłonowych od źródła prądu i zwarciu ich ze sobą.

4. Rozerwanie rakiety na wyrzutni lub w locie. W zależności od sytuacji może tu powstać niebezpieczeństwo rażenia odłamkami lub niebezpieczeństwo ognia.

Przyczyny:

— nieprawidłowa konstrukcja silnika lub zapłonnika,

— nieprawidłowy montaż lub ustawienie rakiety.

Środki zapobiegawcze:

— konstruowanie silników jedynie w oparciu o fachową literaturę i konsultacje fachowców,

— niedopuszczanie do próby w locie silników większych bez uprzednich prób stacjonarnych,

— ścisłe przestrzeganie zasad prawidłowego montażu i ustawienia rakiety na wyrzutni,

— nie stosowanie do zapłonu spłonek piorunujących,

— nie dopuszczenie do próby w locie silników uszkodzonych (ze śladami uderzeń, pęknięć),

— zabezpieczenie obsługi przez odpowiednią odległość od wyrzutni lub ukrycie.

5. Upadek rakiety z pracującym silnikiem. Wypadek taki może być bardzo niebezpieczny, gdyż rakieta po upadku może poruszać się w sposób zupełnie nieprzewidziany, działając niszcząco zarówno przez uderzenie, jak i przez ogień z dyszy.

Przyczyny:

— uszkodzenie mechaniczne rakiety w locie (np. odpadnięcie stabilizatora) w wyniku słabej konstrukcji lub uderzenie o przeszkodę (np. drut),

— za krótka wyrzutnia,

— niestateczna rakieta,

— nierówna praca silnika; jeśli silnik „kicha", praca jego charakteryzuje się okresowym narastaniem i zanikaniem siły ciągu; pierwszy taki impuls może spowodować wyrzucenie rakiety z prowadnic, później nastąpi upadek (na mniejszą wysokość lub na ziemię), później znów pchnięcie w nieoczekiwanym kierunku — może to być zmiana kierunku lotu, skoki na ziemi, lub nawet zygzakowate „pełzanie".

Środki zapobiegawcze:

— stosowanie się przy konstruowaniu rakiety i wyrzutni do obowiązujących zasad; rakieta nie może być budowana „na oko"; konstrukcja większych i cięższych rakiet powinna być konsultowana z fachowcem;

— nie dopuszczanie do próby w locie silników niesprawdzonych oraz uwzględnianie wpływu obniżki temperatury na pracę silnika;

— sprawdzanie, czy na drodze rakiety nie znajdują się przeszkody, jak druty, gałęzie itp.

6. Upadek rakiety w nieprzewidzianym miejscu (z niepracującym silnikiem). Skutki upadku rakiety po zakończeniu pracy

silnika równają się skutkom upadku ciężkiego przedmiotu. Należy dodać, że rakieta posiada zwykle kształt zaostrzony i opływowy profil, a stąd dużą prędkość spadania i wysoką zdolność przebicia przeszkód. Oprócz niebezpieczeństwa uderzenia istnieje — choć mniejsze — niebezpieczeństwo pożaru lub poparzenia, gdyż silnik i dysza zachowują nieraz długo wysoką temperaturę lub nawet dopalające się resztki paliwa. To ostatnie zachodzi z reguły przy rakietach na błonę filmową, paliwo amatorskie itp.

Przyczyny:

— za krótka wyrzutnia, rakieta przy schodzeniu z prowadnic zostaje znacznie odchylona od kierunku nadanego jej przez prowadnice;

— wyrzutnia za mało sztywna: drgania prowadnic lub ich zgięcie powoduje zmianę toru lotu rakiety;

— zmiana toru podczas lotu w wyniku niesymetrii rakiety (zagięty statecznik, sterczące druty itp.);

— wpływ wiatru na lot rakiety.

Środki zapobiegawcze:

— konstruowanie wyrzutni według wskazówek literatury fachowej i porad fachowców,

— ustawianie prowadnic wyrzutni pod dużym kątem do poziomu, najlepiej 80—85°;

— niedopuszczanie do lotu rakiet uszkodzonych; zwracanie uwagi na „czysty" zewnętrzny kształt rakiety;

— uwzględnianie wpływu wiatru na lot rakiety; niedopuszczanie do startów przy silnym wietrze (powyżej 10 m/sek);

— urządzanie prób tylko w odpowiednim, przeznaczonym na to pustym terenie; zapewnienie sobie rezerwy terenowej na wypadek zmiany (odchyleń) toru lotu;

— nieustawianie wyrzutni dokładnie pionowo; grupowanie wszystkich osób po stronie wyrzutni, przeciwnej do strony, w którą ma lecieć rakieta.

Trzeba tu podkreślić wymaganie odpowiedniego terenu prób! Chociaż wymienione wśród innych punktów, jest to wymaganie zasadnicze i bez zapewnienia sobie odpowiedniego terenu nie wolno przystępować do prób rakiet w locie!

Punkty, wymienione jako „środki zapobiegawcze", dają zasadniczy pogląd na to, „co wolno, a czego nie wolno" amatorowi.

A oto podstawowe zalecenia dla konstruktorów rakiet.

1) Trzeba znać prawa i przepisy, dotyczące obchodzenia się z materiałami wybuchowymi i paliwami rakietowymi i przestrzegać ich.

2) Nie próbować konstruowania silników rakietowych bez dokładnego zapoznania się z literaturą fachową, zasadami napędu rakietowego i chemii paliw.

3) Nie próbować konstruowania silników bez zapewnienia sobie rady, pomocy i nadzoru ze strony fachowca; stosować się do jego wskazań.

4) Nie zajmować się konstruowaniem silników na paliwo ciekłe i manipulowaniem tymi silnikami.

5) Obchodzić się z silnikami i paliwami rakietowymi z wielką ostrożnością i uwagą.

6) Nie podgrzewać silników ani paliw do temperatur powyżej 55°C ani nie poddawać ich silnym wstrząsom i uderzeniom.

7) Przy pracach z paliwami rakietowymi i silnikami w ruchu nosić strój ochronny, obejmujący osłonę twarzy z nietłukącego szkła.

8) Nie używać przy budowie silników niebezpiecznych związków chemicznych, do których należą: chloran potasu, związki pikrynowe, związki jodanowe, proszki niektórych metali, jak magnez oraz materiały wybuchowe.

9) Nie używać spłonek wybuchowych do jakichkolwiek celów.

10) Do uruchamiania silników używać zdalnego zapłonu elektrycznego. Urządzenia zapłonowe instalować bezpośrednio przed startem.

11) Próby w locie urządzać w pustym terenie, odpowiednio dużym dla zasięgu danej rakiety. Nie urządzać prób w pobliżu lotnisk i tras przelotów.

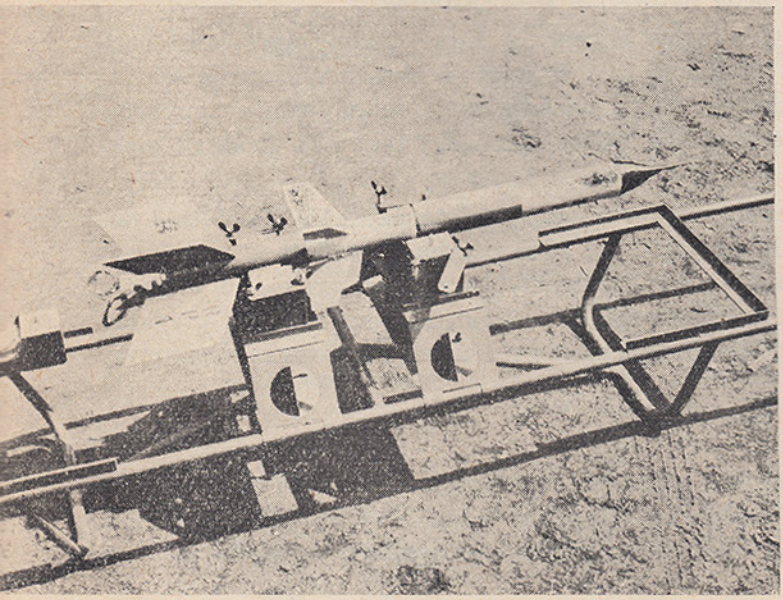
12) Nie wyrzucać rakiet pod kątem mniejszym niż 60° do poziomu; starać się o kąt możliwie duży.

13) Uwzględniać wpływ wiatru na lot rakiety i nie wyrzucać rakiet przy silnym wietrze.

14) Nie umieszczać w rakietach głowic wybuchowych ani nie wyrzucać rakiet do celów naziemnych lub powietrznych.

15) Działać zawsze z rozwagą i poczuciem odpowiedzialności, pamiętając, jakie skutki może spowodować niewłaściwy sposób postępowania.

W tym miejscu, trzeba nadmienić, że przepisy bezpieczeństwa m. in. zawarte wyżej, otrzymają moc prawną i obowiązywać będą na terenie całego kraju.



ROZDZIAŁ VIII

POMIARY OSIĄGÓW RAKIET

Z chwilą gdy rakieta schodzi z wyrzutni rozpoczynając samodzielny lot, zespół obecny na starcie usiłuje śledzić jego przebieg, ocenić uzyskaną wysokość, prędkość itp.

Nie zawsze się to udaje. W większości przypadków widzowie stwierdzają, że rakieta zniknęła z pola widzenia, gdyż miała „potworną szybkość i przykryły ją chmury". Tego rodzaju „pomiary" naturalnie nie dają żadnych korzyści, a kończą się zwykle zgubieniem głowicy (czy też całej rakiety, o ile nie spłonęła) i niezadowoleniem zespołu rakietników zawiedzionych w swoich nadziejach.

Śledzenie lotu rakiety nie jest łatwe. Wymaga „sokolego" wzroku, pewnego doświadczenia, umiejętności oceny odległości, wysokości i zdolności skoncentrowania uwagi. Poza tym niezbędne są pewne przyrządy pomocnicze, jak np. lornety, teodolity (mogą być własnej roboty) i busole.

Uzbrojeni zatem nie tylko w gruntowną znajomość techniki pomiarów (o czym niżej), ale i w kilka prymitywnych przyrządów, jesteśmy w stanie dokonywać z możliwą do przyjęcia dokładnością, najważniejsze pomiary osiągów naszych rakiet. Zrozumiałe jest, że nie osiągniemy

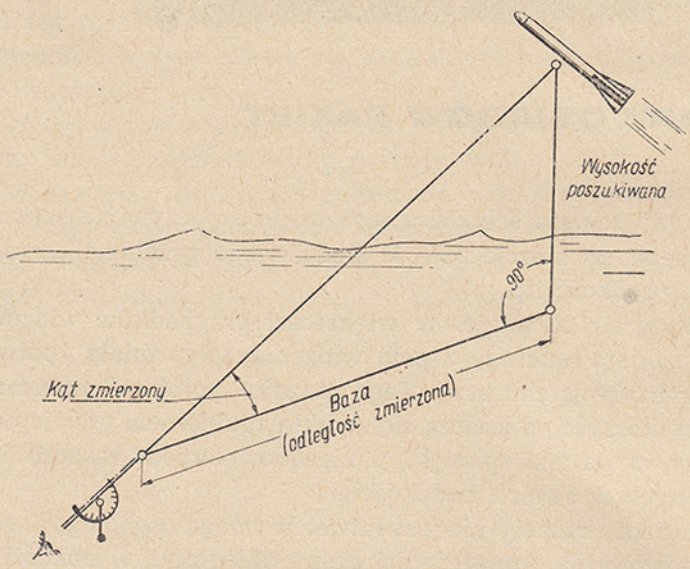
przy pomiarach dokładności absolutnej, co możliwe jest wyłącznie przy użyciu mózgów elektronowych i radiolokacji. Zresztą można stwierdzić, na pocieszenie wątpiących, że i nasze metody pomiarów będą doskonałe w tym zakresie, w jakim zostaną wykorzystane; do śledzenia sztucznych satelitów będą naturalnie zbyt skromne.

Dokonując pomiaru osiągów chcemy z jednej strony sprawdzić obliczenia teoretyczne z praktyką, a z drugiej — rozszerzyć swoją wiedzę o szereg nowych dziedzin, które właśnie przy dokonywaniu pomiarów okazują się niezwykle pomocne. Mowa tu między innymi o geodezji, elektronice, automatyce, optyce i technice filmowej.

Nieważny zatem byłby spór o to, czy rakieta uzyskała absolutnie dokładną wysokość 1507 czy 1500 m, gdyż pomiar 1500 jest w tym przypadku wystarczająco dokładny. Zauważyć przy tym warto, że przebieg czynności jest z natury rzeczy bardzo szybki, nie ma tutaj na przykład możliwości wielokrotnego pomiaru, w celu uzyskania wartości średniej.

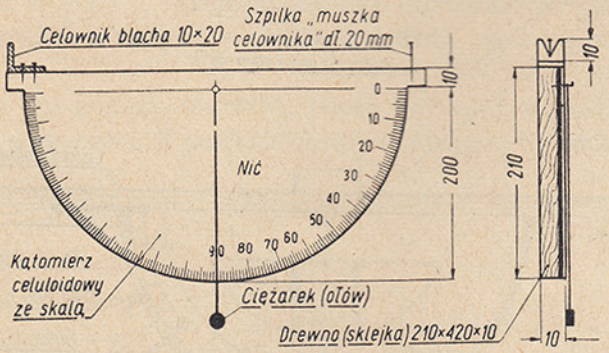
1. Pomiar wysokości lotu

Do pomiaru pułapu można posłużyć się najprostszą metodą znaną z geometrii, a dotyczącą znalezienia długości jednego boku jeśli dana jest podstawa i dwa kąty. Jeśli zatem zbudujemy trójkąt, którego wierzchołek utworzy rakieta sięgająca w danym momencie maksymalnej wysokości swego lotu, to możemy obliczyć wysokość, czyli przyprostokątną naszego trójkąta (rys. 178). Najważniejsze jest zatem obliczenie długości podstawy zwanej w triangulacji bazą oraz określenie kąta, pod jakim



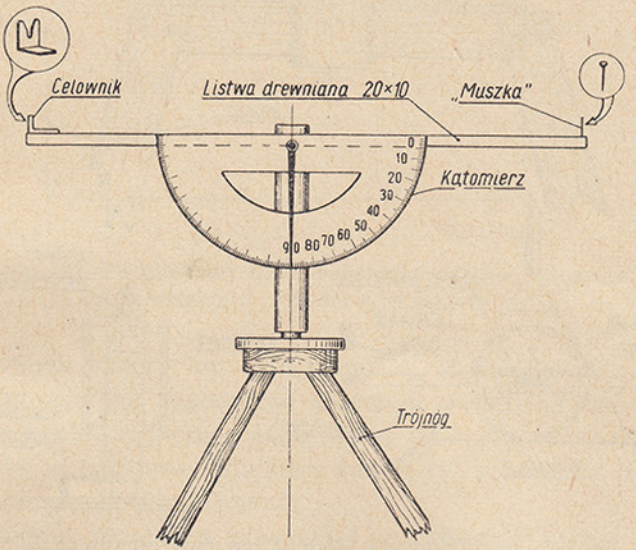
Rys. 178. Elementarny geometryczny pomiar wysokości

znajdzie się rakieta w końcowej fazie parabolicznego toru lotu. Długość bazy łatwo określić posługując się rozwijaną miarą lub tak zwaną „łatą", czyli dłuższym (ok. 2—3 m), prostym kijem z naniesioną podziałką me-



Rys. 179. „Kieszonkowy", mały teodolit wykonany z fabrycznego kątomierza celuloidowego, sklejki i odcinków blachy

trową. Do pomiaru zaś kątów sporządzić trzeba kątomierz upodobniony w zasadzie do teodolitu (rys. 179, 180). Kątomierz zaopatrzony jest w celownik umożliwiający śledzenie rakiety. Pomiar wówczas polegałby

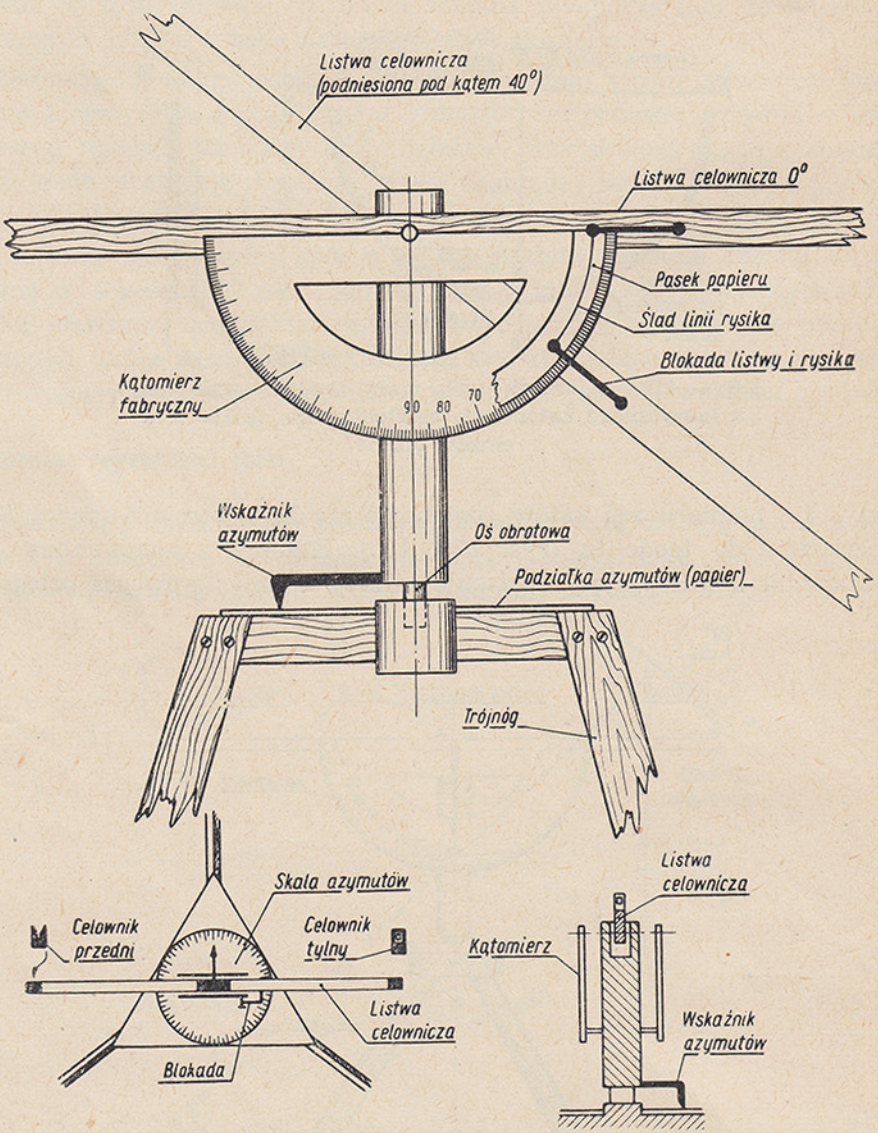


Rys. 180. Większy teodolit z listwą celowniczą

na obserwowaniu rakiety przez celownik i ustaleniu kiedy ona osiągnie pułap. Utrzymując celownik w uzyskanym położeniu można odczytać poszukiwany kąt w stosunku do poziomu.

Bardziej rozbudowanym przyrządem jest teodolit amatorski pokazany schematycznie na rys. 181.

Najprymitywniejszym obliczeniem wysokości byłoby wykreślenie trójkąta w obranej skali i zmierzenie uzyskanej w ten sposób wysokości przyprostokątnej.

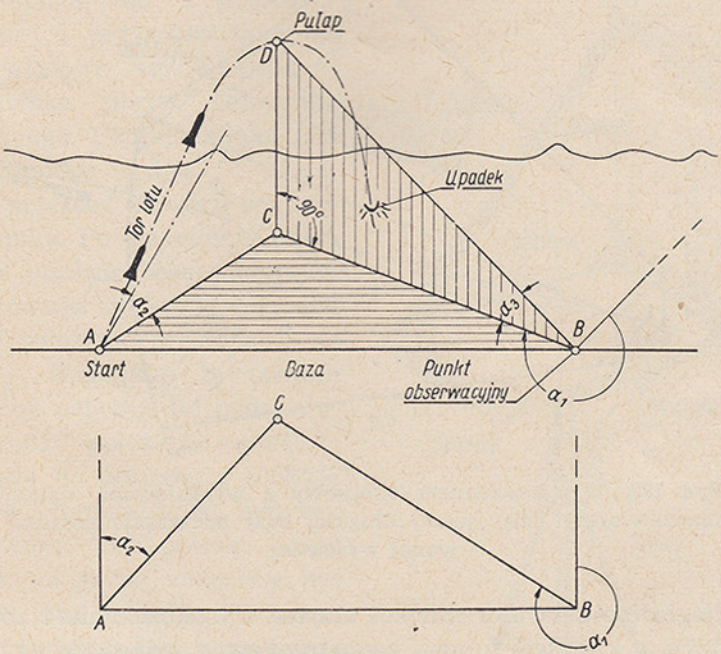


Rys. 181. Bardziej rozbudowany teodolit możliwy do samodzielnej budowy. Oprócz pomiaru kątów w pionie umożliwia pomiary w poziomie zastępując w tym przypadku busolę Bezarda

Bardziej jednak elegancką formą jest obliczenie trygonometryczne, gdyż wiemy, że wysokość $h = b \cdot \mathrm{tg}\alpha$. Przy użyciu suwaka rachunkowego wynik uzyskamy oczywiście znacznie szybciej niż posługując się metodą graficzną, wyżej wspomnianą.

Opisany pomiar pułapu, mimo pozoru skuteczności, obarczony jest niestety niedokładnością. Zakładaliśmy bowiem, że rakieta znajduje się tuż nad miejscem startu, dokładnie pod kątem 90°. Otóż tak nigdy nie bywa, o czym wiemy z przeprowadzonej uprzednio analizy toru lotu. A zatem wspomniana metoda pozwala wyłącznie na bardzo orientacyjny pomiar.

Na rysunku 182 podano warunki, jakim powinien odpowiadać rzeczywisty pomiar wysokości. Z punktu obserwacyjnego (*B*) dwie osoby robią



Rys. 182. Podstawowe dane niezbędne do prawidłowego określenia wysokości lotu rakiety

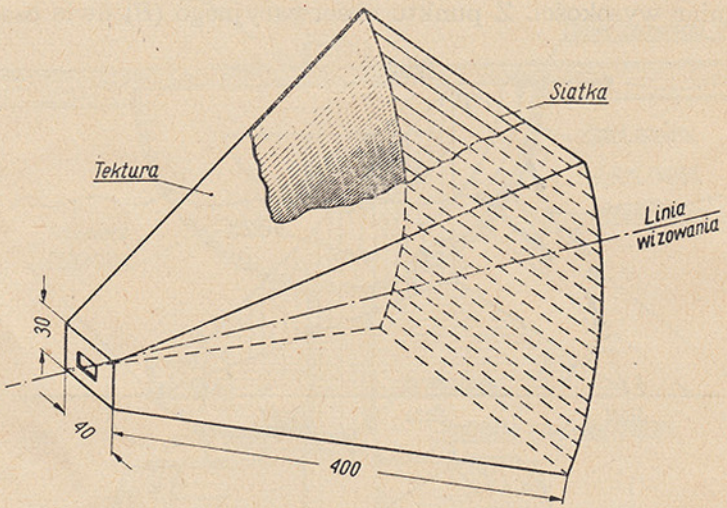
pomiary: pierwsza mierzy kąt α_1 a druga α_3. Z punktu *A* mierzony zaś jest kąt α_2. Do pomiaru zbudowane są zatem dwa trójkąty *ABC* i *BCD*. Do zmierzenia kątów w pionie posługujemy się wymienionym wyżej teodolitem, a kąty w poziomie ustalamy busolą typu Bezarda (zwaną także Adrianowa) zaopatrzoną w celownik.

Dla wyjaśnienia przebiegu pomiarów w poziomie warto wpierw zapoznać się z pojęciem zwanym w geodezji „wcięciem w przód". Polega ono na tym, że wyłącznie przy użyciu busoli można wyznaczyć położenie dowolnego punktu na podstawie dwóch punktów danych. Znając długość bazy (*A*—*B*) prowadzimy prostą od *A*, której azymut [1]) wynosi $\alpha°_2$,

[1]) Azymutem nazywamy kąt zawarty między kierunkiem południka magnetycznego, a rzutem mierzonej linii i liczymy go od bieguna północnego w prawo od 0—360°.

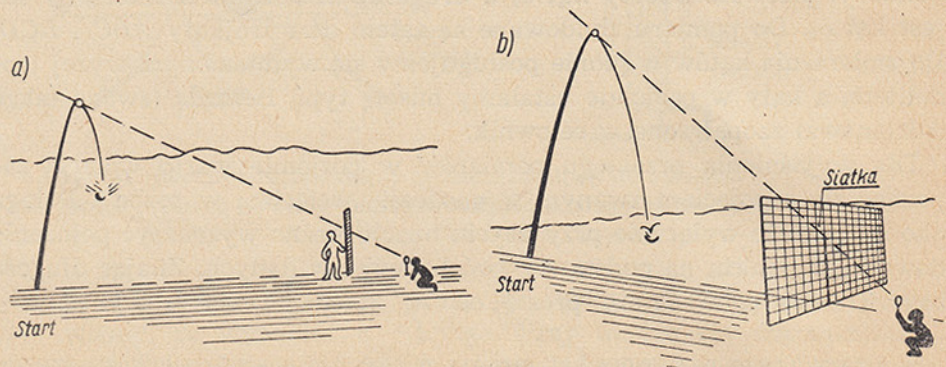
a przez punkt B prostą o azymucie α°_{1}. W przecięciu się tych prostych na mapie otrzymujemy poszukiwany punkt C.

Oprócz powyżej omówionej metody istnieje możliwość, szczególnie do pomiaru niewielkich wysokości, zastosowania wysokościomierza optycznego opartego na wymienionej wyżej zasadzie działania. Budowę jego podano na rys. 183. Tu również mierzymy wysokość znając długość bazy,



Rys. 183. Wysokościomierz tubusowy z wyskalowaną siatką, umożliwiający przy znanej długości bazy odczytanie poszukiwanej wysokości

a więc odległość obserwator-miejsce startu. Wysokościomierz zbudowany jest z tektury w kształcie tubusa, zaopatrzonego z jednej strony w otwór-celownik, a z drugiej w siatkę z drutu będące podziałką przyrządu. Przyrząd wyskalowany jest w stopniach przy użyciu kątomierza i ustawiony na drewnianym trójnogu fotograficznym.

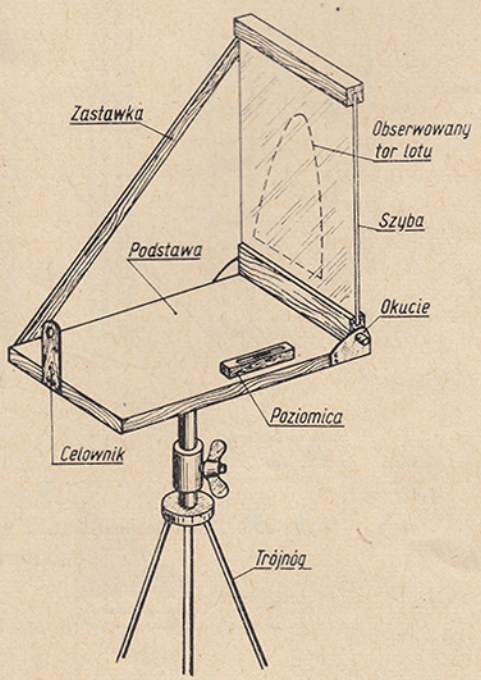


Rys. 184. a) pomiar wysokości za pośrednictwem tyczki, b) pomiar wysokości za pośrednictwem siatki drucianej

Można również dokonać wizualnego pomiaru wysokości wykorzystując wyskalowaną tyczkę i postępując w sposób pokazany na rys. 184a. Można wykorzystać w tym samym celu siatkę drucianą (rys. 184b).

W obu przypadkach mierzymy odległość od miejsca pomiaru do tyczki (siatki) i wysokość zaznaczoną na tyczce (siatce) określoną linią wizowania.

Na identycznej zasadzie, co wyżej wymienione, oparte jest działanie niezmiernie prostego przyrządu, zwanego ramką pomiarową [1]) (rys. 185). Ramka składa się z podstawy drewnianej i przymocowanej do niej zawiasowo szyby szklanej (lub odcinka plexi), celownika oraz trójnoga. Uzupełnieniem jest mała poziomica wodna.



Rys. 185. Konstrukcja ramki pomiarowej z szybą przezroczystą do zaznaczenia punktów toru lotu

A oto przebieg pomiaru wspomnianą ramką. Po ustawieniu przyrządu na punkcie obserwacyjnym przymocowuje się szybę tak, aby przyjęła położenie prostopadłe do podstawy. Następnie za pomocą poziomnicy ustawia się podstawę, aby zajęła położenie idealnie równoległe do poziomu i blokuje się całość. Ramka musi być tak zorientowana, aby patrząc przez celownik na szybę widoczny był cały tor lotu rakiety. A zatem obserwacja musi być przeprowadzana z większej odległości. Szyba służy do zaznaczania na niej charakterystycznych punktów toru lotu szczególnie pułapu. Punkt taki przy pewnej wprawie oznacza się szybko kredką tłustą (tzw. dermatographem).

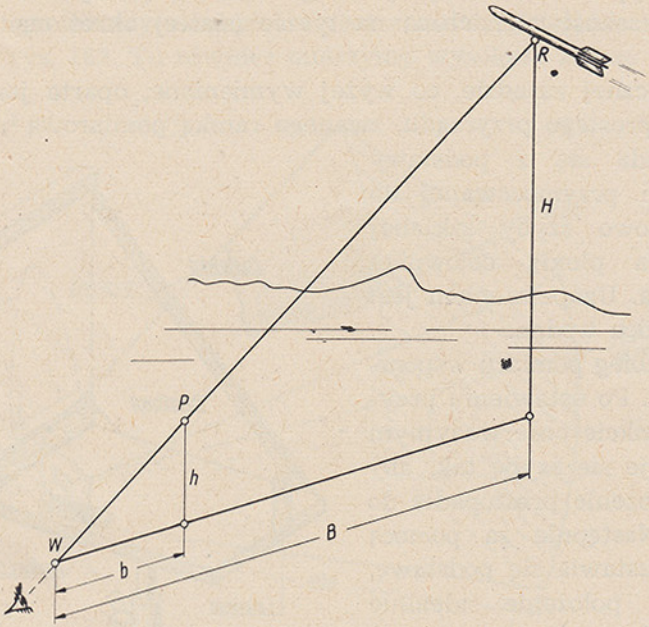
Rakieta bowiem w skrajnym położeniu, na szczycie swego parabolicznego toru na tyle zmniejsza prędkość lotu, że istnieje możliwość zaznaczenia tego momentu na szybie. Przed pomiarem na szybie wykreśla się prostą poziomą leżącą na osi optycznej celownika.

Zasada dokonywania pomiaru podana jest na rys. 186. Widoczna jest tutaj między innymi prosta WR będąca linią wizowania, P — to punkt oznaczony kredką na szybie.

---

[1]) Opracowanego w 1959 r. w Komórce Techniki Rakietowej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Jak widać z rysunku zbudowano dwa trójkąty, które są do siebie podobne: mają identyczne kąty i proporcjonalne boki. A zatem możemy to podobieństwo określić równaniem:



Rys. 186. Zasada obliczania wysokości przy użyciu ramki pomiarowej

$$\frac{H}{h} = \frac{B}{b}$$

Gdzie: H — wysokość, B — baza.

Znając długość bazy możemy obliczyć poszukiwaną wysokość H:

$$H = \frac{h}{b} \cdot B$$

Wartości h i b obliczamy w jednakowych jednostkach. Jeśli na przykład b — wynosi 25 cm, B — 250 m, a zmierzony odcinek na szybie h — 20 cm, to pułap wyniesie:

$$H = \frac{20}{25} \cdot 250 = 200 \text{ m}$$

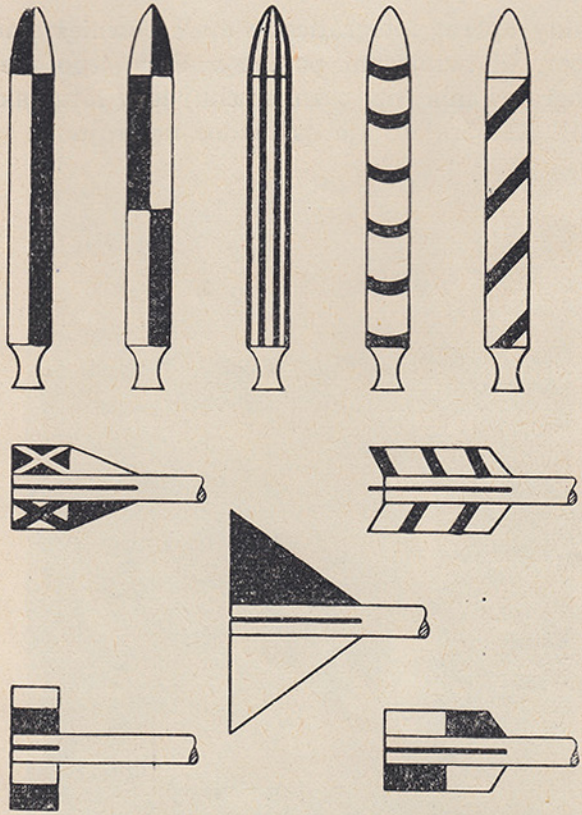
Dla ułatwienia obserwacji rakiety konieczne jest odpowiednie pomalowanie jej w dobrze widocznych barwach lub ich kompozycji.

Na rysunku 187 podano kilka typowych sposobów malowania. Zestawienie barw: żółta — czarna, biała — czerwona, biała — czarna, czerwona — żółta.

Niezależnie od dotąd omówionych metod pomiaru wysokości godna polecenia jest najprostsza, wymagająca jedynie użycia sekundomierza i obliczenia całkowitego czasu lotu, zgodnie z wzorem:

$$H = \frac{1}{2} gt^2$$

gdzie t oznacza połowę całkowitego czasu lotu [1]).



Rys. 187. Przykładowe sposoby malowania rakiet dla zwiększenia ich widzialności

Jeśli na przykład całkowity czas lotu rakiety od chwili startu do upadku wyniesie 5 sekund, to otrzymamy wysokość:

$$H = \frac{1}{2} 9{,}81 \cdot 5^2 = 4{,}95 \cdot 25 = 123{,}75 \text{ m}$$

Ten sposób obliczania można łatwo trenować, gdy ktoś podrzuca wysoko np. piłkę tenisową lub strzela w górę z łuku, a obserwator stara się jak najdokładniej ustalić sekundomierzem czas lotu.

---

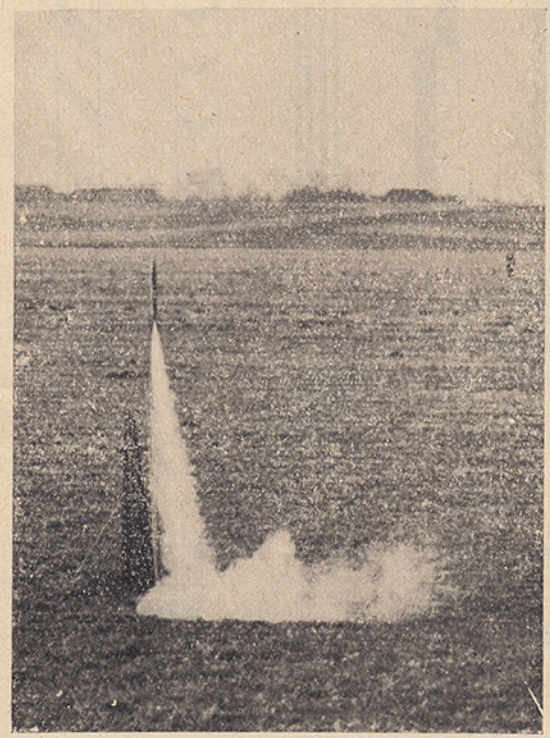
[1]) Zakłada się bowiem, dla uproszczenia, że czas lotu rakiety do pułapu równa się czasowi powrotu na ziemię — stąd ½ czasu całkowitego.

2. Pomiar miejsca upadku rakiety

Przy odszukiwaniu rakiety najwygodniej posługiwać się omówionym wyżej „wcięciem w przód", posiłkując się busolą Bezarda lub też teodolitem własnej roboty. Jeśli dysponuje się mapą danego terenu, to mając określone azymuty miejsca upadku wykreśla się je bezpośrednio na mapie na przecięciu otrzymując poszukiwany punkt.

3. Wykorzystanie aparatów foto- i filmowych

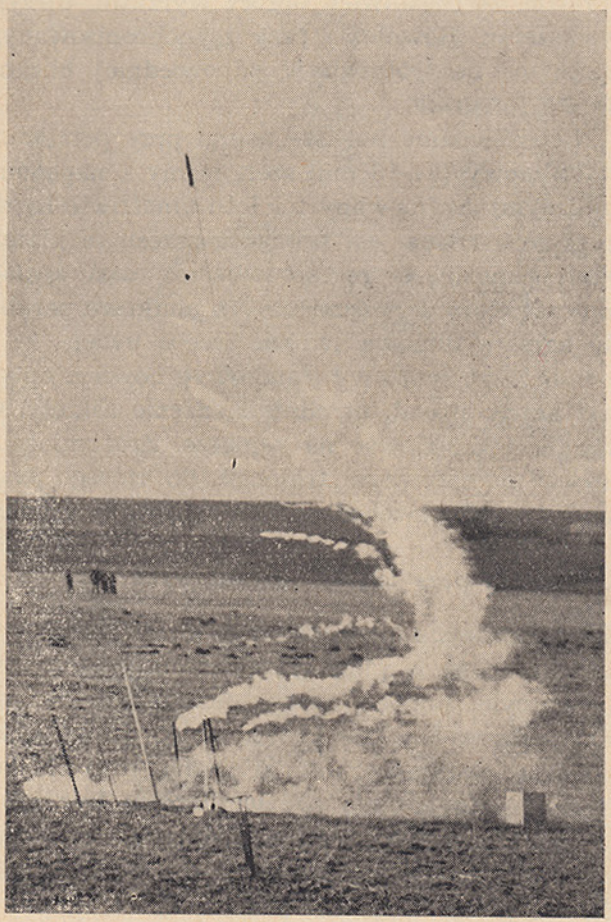
Zwykły aparat fotograficzny może również stać się pożytecznym przyrządem ułatwiającym pomiary. Przy jego pomocy istnieje możliwość sfotografowania (np. o zmierzchu) toru lotu rakiety jeśli ma ona oświetlenie. Kamera zostaje ustawiona na trójnogu i otwarta migawka (ustawienie na „B"). Rakieta wyposażona w oświetlenie umieszczone w głowicy lecąc w ciemności kreśli smugę świetlną, którą utrwala klisza światłoczuła naszego aparatu. Warunkiem powodzenia jest wybór najkorzystniejszej odległości ustawienia aparatu od miejsca startu i stosowanie czułych filmów (minimum 24—25°DIN) przy pełnym otworze obiektywu. Ponieważ w omówionym przypadku aparat sam fotografuje przebieg startu wyklucza się możliwość zaistnienia niebezpieczeństwa, gdyż fotograf jest niepotrzebny, a podchodzi do aparatu po dokonanym starcie.



Rys. 188. Klasyczny start rakiety sfotografowany na I Zawodach Rakiet Amatorskich, Kraków 1962 r.

Fotografowanie toru lotu przy świetle dziennym jest trudniejsze, gdyż wymaga użycia smugaczy dobrze widocznych na tle nieba oraz zastosowania ciemnoczerwonego lub pomarańczowego filtra w celu przyciemnienia błękitu nieba i wydobycia jak najwyraźniejszego białego dymu znaczącego ślad rakiety.

Fotografowanie rakiety startującej z wyrzutni jest efektowne, ale może być dokonywane przy użyciu teleobiektywu, (przy użyciu lustra)



Rys. 189. Eksplozja rakiety z silnikiem kliszowym. Rozsypywanie się części ładunku uwidacznia kierunek smug

z odpowiednio zabezpieczonego bunkra albo też po zsynchronizowaniu ruchu rakiety na wyrzutni z migawką aparatu. Chodzi o to, aby migawka została wyzwolona w momencie gdy rakieta zaczyna odrywać się od podłoża. Najprostszym rozwiązaniem jest umieszczenie ślizgowego kontaktu na prowadnicy — wyrzutni. Rakieta zwiera obwód prądu i migawka poprzez przekaźnik elektromagnetyczny zostaje wyzwolona. Czas otwarcia migawki — czas naświetlenia zależy naturalnie od prędkości rakiety i odległości aparatu. Waha się on w granicach od 1/250 do 1/1000.

Na rys. 188 pokazano start rakiety na I zawodach w 1962 r. w Krakowie. Czas naświetlania 1/500 sek. Smugę dymu widać, gdyż odcina się ona od ciemnozielonej trawy.

Na rys. 189 uchwycono rozerwanie się ładunku kliszowego rakiety z usterzeniem prętowym. Czas naświetlania 1/250 sek.

Dodać warto, że próby uchwycenia momentu startu celując aparatem w sposób normalny, z ręki — zawodzą i tylko rzadki przypadek może sprawić, że cośkolwiek oprócz wyrzutni, ujrzymy na sporządzonym powiększeniu. Również i przy zsynchronizowanym fotografowaniu aparat spoczywa na trójnogu w odpowiedniej bliskości miejsca startu i bez asysty fotografa.

Nieporównanie większe usługi przy pomiarach oddaje amatorski aparat filmowy (8—16 mm szer. taśmy z napędem sprężynowym lub elektrycznym). Sfilmowany tor lotu umożliwia bardzo dokładną jego analizę, gdyż jeśli znana jest prędkość przesuwu klatek (średnio 16—32 kl/sek) istnieje możliwość np. sprawdzenia czasu spalania się paliwa [1]), określenia czasu lotu w poszczególnych punktach paraboli itp. Przy posługiwaniu się kamerą filmową zwrócić trzeba uwagę, że najwygodniejszy jest celownik, tzw. sportowy (ramkowy), bowiem optyczny, w jaki wyposażony jest każdy aparat, utrudnia śledzenie rakiety. Celownik sportowy łatwo dorobić i zabudować na kamerze. Zrozumiałe, że aparat powinien spoczywać na sztywnym trójnogu, do którego przykręcono głowicę kulową umożliwiającą swobodny ruch aparatu w pionie i poziomie.

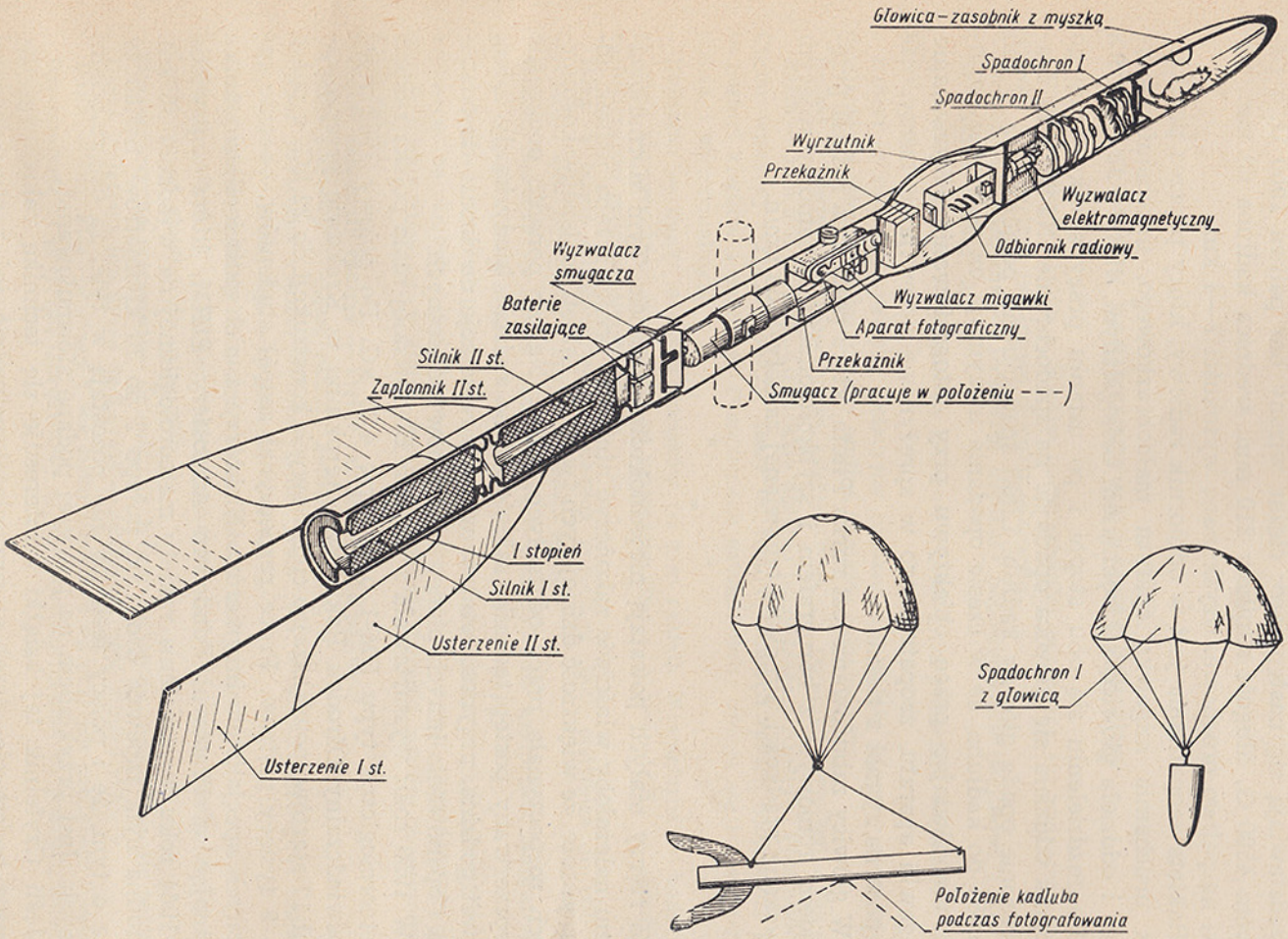
4. Pomiary przy użyciu fal radiowych

Najsprawniejsze pomiary możliwe są przy użyciu nadajnika radiowego zabudowanego w głowicy rakiety [2]). Wówczas dysponując odbiornikiem naziemnym, ramową anteną określającą kierunek wiązki fal radiowych, oraz przyrządem samozapisującym drogę rakiety na wyskalowanym papierze, mamy możność uzyskania pełnych danych odnośnie toru lotu. Poza tym urządzenie nadawcze może być zabudowane dodatkowo tak, że przekazywać będzie na ziemię na przykład wartości temperatury, wysokości lotu, przyspieszenia itp. Rakieta może nieść dodatkowo odbiornik, który otrzyma rozkazy z ziemi, np. do wyrzucenia spadochronu, oddzielenia kolejnego stopnia itp., a nawet sterowania, działając poprzez miniaturowe przekaźniki na stery umieszczone na statecznikach.

---

[1]) Na przykład, stosując maksymalną prędkość przesuwu klatek 64 kl/sek można łatwo obliczyć czas spalania, dzieląc liczbę klatek, na których widoczny jest przebieg spalania — przez ilość klatek przesuniętych w ciągu sek. Jeśli np. spalanie widoczne było na 48 klatkach to czas spalania $= \frac{48 \text{ kl}}{64 \text{ kl}}$ /sek $= {}^3/_4$ sek.

[2]) Doskonałe przykłady budowy super-miniaturowych nadajników znajdzie czytelnik w książce J. Wojciechowskiego pt.: „Nowoczesne zabawki — elektronika w domu i w szkole"wyd. WKiŁ — Warszawa 1963 r.



Rys. 190. Anatomia amatorskiej rakiety badawczej. Wyposażenie umożliwia przeprowadzenie szeregu doświadczeń

Przykładem dość urozmaiconego wyposażenia pomiarowo-badawczego może być rakieta dwustopniowa, podana na rys. 190, którą zbudował zespół rakietowy w Krasnodarze (ZSRR) w 1962 roku. Dane techniczne przedstawiają się następująco: ciężar własny bez paliwa 1900 G, z paliwem 4500 G, długość silników 210 mm, średnica kadłuba 68 mm, silniki na paliwo prochowe. Uzyskiwane wysokości 2—4 km.

Rakieta zaopatrzona jest w odbiornik radiowy, który poprzez przekaźnik uruchamia migawkę aparatu małoobrazkowego, uruchamia smugacz i oddziela głowicę z zasobnikiem biologicznym.

Po rozdzieleniu się obu stopni i po ustaniu pracy silnika drugiego stopnia oddziela się głowica opadając na spadochronie. Na drugim spadochronie opada główny kadłub. Linki spadochronu połączone są w ten sposób do kadłuba, że w czasie opadania utrzymuje on położenie poziome umożliwiając pracę obiektywu przy fotografowaniu. Wyzwalanie migawki aparatu, zaopatrzonego w sprężynowe przewijanie taśmy, następuje na sygnał z ziemi.

W głowicy zabudowana jest rurka Pitota, która połączona została przewodem gumowym z barografem i szybkościomierzem samozapisującym uzyskane prędkości. Prędkość omawianej rakiety 1200 km/h.

* * *

Z rzeczy małych powstają niejednokrotnie wielkie. Tym sformułowaniem należałoby właściwie zakończyć niniejszą pracę. Trzeba jednak dodać jeszcze, że większość dzisiejszych twórców rakiet i pojazdów kosmicznych rozpoczynała pracę od małych rakiet. Należy ponadto podkreślić nieprzerwany postęp techniki rakietowej na świecie, kiedy każdy dzień, nawet godzina, przynosi coraz to większe rewelacje na drodze do poznania i opanowania innych planet i systemów słonecznych.

W 1958 roku wystartowała z pustyni Błędowskiej mała polska rakieta meteorologiczna typu RM-1 o ciężarze 4,35 kG. Do połowy 1962 roku Doświadczalny Ośrodek Rakietowy Aeroklubu w Krakowie przeprowadził 17 startów, powiększając ciężar swych konstrukcji do 22 kG, a pułap do 8 tysięcy metrów. Pracę rozpoczynał zespół studentów, obecnie cenionych specjalistów-inżynierów. Niektórzy z nich poświęcili się nauce pracując w Pracowni Sondowań Atmosfery PIHM, która zapowiada w 1964 roku wystrzelenie rakiety meteorologicznej na wysokość 30 km. Żmudna była zapewne droga od pułapu 2 do 30 kilometrów. Świadczy ona o tym, że i polscy technicy nie pozostają w tyle, za osiągnięciami innych. Jest przykładem na powyżej podane sformułowanie.

Jeśli Czytelnik tej książki zainteresuje się techniką rakietową, napewno będzie się starał w przyszłości uzupełnić jej karty własnymi osiągnięciami, które powinny służyć wyłącznie pożytkowi ogółu, wzbogacając polską naukę i technikę.

KRÓTKI SŁOWNIK RAKIETNICTWA AMATORSKIEGO

Aerodynamika — jeden z działów aeromechaniki zajmujący się badaniem opływu ciał w powietrzu lub innym ośrodku gazowym.

Atmosfera techniczna — jednostka ciśnienia odpowiadająca naciskowi 1 kG na 1 cm^2. Skrót: kG/cm^2 lub at.

Atmosfera fizyczna — jednostka ciśnienia równa 1,033 atmosfery technicznej (at). Skrót: Atm.

Azbest — niepalny materiał izolacyjny (włókno mineralne) odporny również na działanie kwasów. Stosowany jako otulina silników rakietowych.

Balast — obciążenia dopełniające, przeznaczone dla regulacji wyważenia rakiety.

Balsa — gatunek łopianu, ultralekkie drewno pochodzące z Ameryki Południowej. Ciężar właściwy od 0,15 do 0,25. Służy do budowy małych rakiet. Stosowana jest w postaci klocków i deseczek. Poszczególne gatunki balsy różnią się barwą, twardością i wytrzymałością.

Balistyka — nauka o ruchu pocisków (w tym rakiet). Wewnętrzna — balistyka zajmuje się procesami zachodzącymi wewnątrz silnika, a zewnętrzna — procesami zachodzącymi podczas ruchu rakiety.

Baza — znana odległość między dwoma punktami, jako podstawa do obliczeń wysokości lotu, odległości i miejsca upadku rakiety.

Busola Bezarda — busola umożliwiająca odczytywanie azymutów. Zaopatrzona jest w celownik do pomiarów kątowych i odpowiednią skalę.

Celuloid — materiał plastyczny łatwopalny (otrzymywany przez działanie kwasu azotowego na celulozę z dodatkiem plastyfikatora kamforowego); stosowany do produkcji taśmy filmowej, z której można sporządzać ładunki paliwa do prymitywnych rakiet.

Ciężar całkowity rakiety — ciężar rakiety wraz z paliwem.

Ciężar startowy — ciężar rakiety gotowej do startu.

Ciężar użyteczny rakiety — obciążenie, jakie jest w stanie udźwignąć rakieta. Może nim być ciężar np. wyposażenia specjalnego.

Ciężar własny rakiety — ciężar rakiety pustej bez paliwa.

Długość całkowita — długość rakiety zawarta między dwiema skrajnymi jej częściami: np. od głowicy do usterzenia.

Długość czynna wyrzutni — długość, na której następuje rozpędzenie się rakiety.

Dysza wylotowa lub dysza de Lavala — końcowa część silnika rakiety.

Dyna — siła, która w ciągu 1 sek nadaje masie 1 kg przyrost prędkości 1 m/sek.

Dynamometr — przyrząd (sprężynowy w najprostszej formie) do pomiaru kilograma siły.

Fototeodolit — inaczej komora balistyczna — instrument umożliwiający dokładny pomiar toru lotu rakiety. Wykonuje zdjęcia stereoskopowe. Pomiaru dokonuje się zazwyczaj nocą, przy czym rakieta musi być zaopatrzona w źródło światła.

Głowica — przednia część kadłuba rakiety odpowiednio ukształtowana, tak aby dawała przy maks. prędkości lotu, jak najmniejszy opór. Wnętrze głowicy wykorzystane bywa m. in. do umieszczenia szeregu urządzeń pomiarowych.

Hamownia — urządzenie służące do statycznych prób z silnikami rakietowymi i określania ich charakterystyk np. ciągu, czasu spalania paliwa itp.

Impuls — iloczyn siły ciągu przez czas. (kG. sek).

Impuls właściwy — impuls, jaki można uzyskać po spaleniu 1 kG paliwa w ciągu 1 sek. (kG · sek/kG).

Kadłub rakiety — najważniejsza, konstrukcyjna część rakiety utrzymująca pozostałe i umożliwiająca wbudowanie silnika, głowicy, zbiorników paliwa itp. Przeważnie o przekroju rurowym, pełnym, bądź konstrukcji wręgowej z cienkościennym pokryciem.

Kaliber — maksymalna średnica kadłuba rakiety.

Kąt startu — kąt, pod jakim ustawione są prowadnice wyrzutni w stosunku do poziomu. Ze względów bezpieczeństwa, a także osiągnięć, najkorzystniejsze kąty startu zawarte są między 70—80°.

Kinoteodolit — instrument do pomiaru toru lotu rakiety, orientacji ich w przestrzeni oraz do obserwacji np. odłączania się poszczególnych członów rakiety.

Konstrukcja skorupowa — nośne pokrycie rakiety, na przykład kadłuba z niewielką ilością, wręg wzmacniających. Typowym przykładem konstrukcji skorupowej jest wykonanie kadłuba rakiety z cienkiej sklejki zwiniętej w rurę i sklejonej bez zastosowania innych rozpórek czy wręg.

Krytyczny przekrój dyszy — najmniejsza powierzchnia przekroju dyszy de Lavala.

Krzywa balistyczna — tor jaki opisuje rakieta nie wyposażona w płaszczyzny nośne.

Komora spalania — cylindryczna przestrzeń w kadłubie rakiety, w której zachodzi proces spalania się ładunku paliwa i wytwarzają się gazy.

Karbid — CaC_2 — węglik wapnia. Zmieszany z wodą rozkłada się dając wybuchowy gaz — acetylen. Bardzo niebezpieczny środek, niedopuszczalny w praktyce rakietnictwa amatorskiego.

Lepiszcze — substancja wiążąca dodawana przy wyrobie mas pirotechnicznych. Są to najczęściej żywice naturalne (szelak, asfalt, kalafonia) lub sztuczne (bakelit).

Liczba Macha — stosunek prędkości lotu (m/sek) do prędkości dźwięku (m/sek).

Lont — pleciony sznur bawełniany służący do zapalenia ładunku paliwa. Dla polepszenia spalania może być nasycony wodnym roztworem soli lub saletry.

Masa — stosunek ciężaru danej rakiety do wartości przyspieszenia ziemskiego.

Masa startowa — masa rakiety i jej ładunek użyteczny, w chwili startu.

Modelarstwo rakietowe — budowa w określonej skali statycznych kopii prawdziwych rakiet przy użyciu różnych materiałów, jak drewno, papier itp.

Mieszanka pirotechniczna — mieszanina nieorganicznego utleniacza i organicznego paliwa pełniącego funkcję elementu wiążącego, w którym rozpuszczony jest utleniacz. Ma ona najczęściej ciastowatą konsystencję.

Mol — (gramocząsteczka) ilość gramów związku chemicznego równa liczbowo jego ciężarowi cząsteczkowemu. Np. 1 mol H_2O = 18 g.

Odchylacz płomienia (deflektor) umieszczany zazwyczaj na stole startowym wyrzutni. Wykonywany z blachy stalowej przy rakietach amatorskich, często chłodzony wodą.

Oddzielenie — czynność odpalania jednego lub kilku członów od rakiety.

Osiąg — maksymalna wysokość lotu rakiety, maksymalny czas lotu lub inne charakterystyczne cechy lotu rakiety.

Paliwo rakietowe — ogólne określenie ładunku złożonego z paliwa właściwego i utleniacza użytych razem lub osobno i wytwarzającego podczas spalania ciśnienie gazów, które zużytkowane może być do napędu rakiety.

Pirotechnika — dosłownie sztuka otrzymywania ognia. Nauka o sposobach wytwarzania i właściwościach mas i środków pirotechnicznych, dających efekty świetlne, cieplne, dymne itp.

Pojemnik — miejsce w kadłubie rakiety przeznaczone na umieszczenie w nim wyposażenia np. złożonej czaszy spadochronu.

Poligon rakietowy — teren, na którym przeprowadza się próby z rakietami podczas startu i w czasie lotu.

Prędkość wylotowa — Prędkość cząstek gazowych (lub innych) względem dyszy wylotowej. Prędkość wylotową można otrzymać mnożąc impuls właściwy przez przyspieszenie ziemskie.

Prędkość zapalenia — prędkość ta zależy od: stopnia rozdrobnienia składników, od gęstości masy, od temperatury początkowej i od ciśnienia zewnętrznego. Największą prędkość zapalenia ma magnezja i proch czarny.

Przekaźnik — urządzenie pozwalające pod wpływem słabych sygnałów sterować obwodami dużych mocy. Stosowane mogą być przekaźniki elektromagnetyczne, elektroniczne, pneumatyczne i inne.

Przyspieszenie — przyrost prędkości w jednostce czasu.

Przyspieszeniograf — przyrząd służący do zapisu wartości przyspieszenia danej rakiety.

Przyspieszeniomierz — przyrząd służący do pomiaru jednej lub kilku wartości przyspieszenia danej rakiety.

Pułap — maksymalna wysokość na jaką może wznieść się rakieta. Zależny jest między innymi do wielkości ciągu silnika.

Rakieta — urządzenie (pojazd) mogące poruszać się zarówno w atmosferze ziemskiej jak i przestrzeni kosmicznej, napędzane w formie najprostszej paliwem stałym lub płynnym. Ruch rakiety opiera się na wykorzystaniu reakcji skierowanej przeciwnie do kierunku wylotu gazów spalinowych.

Ramię usterzenia — odległość między środkiem ciężkości rakiety, a środkiem parcia usterzenia.

Rakieta amatorska — rakieta uproszczonej konstrukcji, wyłącznie na paliwo stałe. Przeznaczenie: starty doświadczalne w celu zaznajomienia się z techniką rakietową oraz dla celów sportowych (zawody).

Rakieta doświadczalna — rakieta zbudowana w celu wypróbowania nowego układu, konstrukcji, paliwa itp. lub też dla przeprowadzenia specjalnego sondażu atmosfery, np. sprawdzenia prędkości prądów poziomych lub wznoszących na określonej wysokości.

Rakieta wielostopniowa — rakieta złożona z kilku członów mających osobny napęd. Największa z zespołu nosi miano pierwszego stopnia lub rakiety nośnej. Dzięki korzystnemu stosunkowi mas ostatni stopień osiąga znacznie większą wysokość niż rakieta jednostopniowa.

Rakietoplan — rakieta zaopatrzona w płaszczyzny wytwarzające siłę nośną inaczej samolot z silnikiem rakietowym.

Rozrzut rakiety — każda rakieta nie kierowana spadając na ziemię podlega wpływowi wiatru, ukształtowaniu własnemu i innym czynnikom, które stwarzają przypadkowość lądowania w przewidzianym miejscu. Zgodnie z teorią prawdopodobieństwa Gaussa rozrzut przybiera kształt elipsy usytuowanej wzdłuż lub w poprzek prostopadłej toru lotu — w zależności od kąta wyrzucenia rakiety.

Ruszt — przegroda siatkowa zabezpieczająca paliwo przed wysypaniem się z komory spalania oraz uniemożliwiająca zablokowanie przewężenia dyszy wylotowej cząstkami ładunku.

Saletra potasowa — (KNO_3) — azotan potasowy — sól potasowa, jeden ze składników prochu. Mieszanina saletry z miałkim cukrem daje niebezpieczny w przygotowaniu (gotowaniu) związek wybuchowy.

Spadochron — przyrząd zwalniający prędkość spadania przedmiotu przymocowanego do niego. Stosowany do ochrony rakiet lub wyposażenia w czasie ich powrotu na ziemię.

Schron — miejsce dla obsługi startu lub pomieszczenie zabezpieczone przed upadkiem rakiety lub jej części.

Siarka (S) — produkt kopalny barwy jasnożółtej, używany do wyrobu prochu czarnego i mas pirotechnicznych. Rozróżnia się siarkę w blokach i mieloną. Liczba atomowa 16, ciężar atomowy 32,066, temp. topnienia 119,25°C, gęstość 2,07 G/cm³.

Smugacz — urządzenie zainstalowane w rakiecie i powodujące wypływ dymu (proszku — cieczy itp.) podczas lotu. Ułatwia śledzenie toru lotu.

Spalanie niestateczne — nierównomierna praca silnika rakietowego, który początkowo działa prawidłowo, po tym gaśnie i znów wraca do normy.

Spalanie rezonansowe — nagła zmiana wartości ciśnienia w silniku rakietowym (wahania dochodzą do około 50% w średniej warstwie), powodująca często zniszczenie silnika. Zjawisko to związane jest z rezonansem, drganiami fal o wysokiej częstotliwości i stąd nazwa.

Sprężarka — urządzenie sprężające powietrze do określonego ciśnienia. Najprostszą sprężarką jest pompka rowerowa stosowana przy starcie rakiet wodno-powietrznych.

Stateczniki — stałe płaszczyzny o określonej powierzchni umieszczone na kadłubie i zapewniające rakiecie niezbędną stateczność w czasie lotu.

Stosunek mas — stosunek masy początkowej, jaką rakieta miała przy starcie, do masy końcowej, po zużyciu paliwa.

Strumień wylotowy — strumień cząstek gazowych (lub innych) emitowany z dyszy rakiety. Zwany również bywa strumieniem odrzutowym.

Strzelnica balistyczna — przestrzeń pomiarowa służąca do badania modelowego rakiet w locie. Umożliwia określenie szeregu parametrów takich jak prędkość, stateczność itp.

Styropian — sztuczne tworzywo piankowe polskiej produkcji. Ciężar właściwy poszczególnych gatunków 0,02; 0,075 i 0,13. Styropian można stosować zamiast balsy, jako wypełniacz przy budowie kadłubów modeli blokowych i małych rakiet. Odporny na niskie temperatury. Możliwość stosowania maksimum przy +65°C.

Symulator — naziemne urządzenie mechaniczne lub elektronowe symulujące procesy zachodzące podczas startu i lotu rakiety. Służyć może dla treningu lub sprawdzenia nowej konstrukcji.

Taśma filmowa — celuloidowa taśma perforowana szerokości 35 mm. Łatwopalna znajduje zastosowanie jako paliwo rakiet prymitywnych.

Teodolit —przyrząd optyczny służący do precyzyjnego pomiaru kątów w pionie i poziomie.

Telemetria — technika przeprowadzania pomiarów na odległość lub przekazywanie ich wyników.

Tensometr oporowy — czujnik metalowo-oporowy naklejany na powierzchnię badaną np. komory spalania rakiety. Umożliwia pomiary: siły, ciśnienia, przyspieszenia itp. Tensometr oporowy składa sę z szeregu drutów oporowych, których końce są powiązane taśmą miedzianą, do niej przewody łączące czujnik z aparaturą elektronową. Pomiary tensometryczne są stosowane przy użyciu układów przekształ-

cających. Pomiar np. siły dokonuje się przez zmierzenie naprężeń w częściach ściskanych, rozciąganych lub zginanych. Jest szeroko stosowany w technice rakietowej.

Tor balistyczny — część toru lotu rakiety po ustaniu działania silnika, gdy na rakietę działa jedynie siła ciężkości, pęd oraz właściwości atmosferyczne. Tor pocisku karabinowego np. jest w całości torem balistycznym.

Tor lotu — linia łącząca ciągłe położenia zajmowane, lub takie, które dopiero zostaną zajęte przez rakietę w czasie jej ruchu w powietrzu, bez odniesienia do płaszczyzny pionowej i poziomej.

Utleniacz — najczęściej związek tlenowy, jeden ze składników paliwa — substancji palnej.

Wydłużenie — (miara smukłości) stosunek długości rakiety do kalibru (średnicy). Ma wpływ na opór. Rakieta o wielkim wydłużeniu ma mniejszy opór niż o wydłużeniu małym.

Wyrzutnia — urządzenie umożliwiające start rakiety. Składa się z prowadnic, po których ślizga się kadłub rakiety, często z obudowy kratowej, podstawy i ciągien usztywniających.

Wyrzutnia zerowej długości — wyrzutnia, która utrzymuje rakietę w takim położeniu, że ciąg silnika jest wystarczający, aby rakieta wystartowała bez rozbiegu na prowadnicach.

Wyważanie — czynności związane z regulacją położenia środka ciężkości.

Wyzwalacz — urządzenie mechaniczne lub elektryczne umożliwiające włączenie lub wyłączenie obwodu prądu, oddzielenie poszczególnych stopni rakiety, wyrzucenie spadochronu itp. Najczęściej stosowane: wyzwalacze bezwładnościowy i rtęciowy.

Zapłonnik — urządzenie (najczęściej elektryczne) powodujące zapłon paliwa w komorze spalania.

Zapalenie — rozprzestrzenienie się palenia na całej powierzchni ładunku paliwa.

Zapłon — proces, który następuje w wyniku działania impulsu cieplnego i udziela się ograniczonej części ładunku paliwa.

Zasięg — odległość, jaką pokonuje rakieta, licząc od miejsca startu do miejsca lądowania.

Zdalne kierowanie rakietą — uruchamianie za pomocą fal elektromagnetycznych urządzeń odbiorczych na rakiecie, które poprzez przekaźniki działają na poszczególne mechanizmy np. wyzwalanie migawki aparatu fotograficznego. Uruchamianie zapłonnika przy starcie drogą radiową niewskazane, ze względu na możliwość niekontrolowanego zapłonu od innych źródeł nadawczych. W Polsce obowiązuje dla celów modelarskich zachowanie mocy maksymalnej nadajnika 5 watów i częstotliwość robocza 27,12 MHz (11,06 m) z tolerancją ± 0,6% oraz posiadanie imiennej licencji wydanej przez Centralny Zarząd Radiostacji i Telewizji.

Zwichrowanie — inaczej skrzywienie. Na przykład płaszczyzn usterzenia lub kadłuba. Wpływa szkodliwie na lot.

WYKAZ LITERATURY

Książki w języku polskim

Burakowski T., Sala A.: Rakiety i pociski kierowane. MON 1960.
Gantmacher F., Lewin L.: Teoria lotu rakiet niekierowanych. MON 1961.
Kowal J.: Młody fizyk konstruktor. KSW 1937.
Piotrowski J.: Geodezja (cz. I). PWN 1961.
Subotowicz M.: Astronautyka. PWN 1960.
Szydłowski A.: Podstawy pirotechniki. MON 1957.
Walczewski J.: Podstawowe wiadomości z małego rakietnictwa (skrypt). LPŻ 1961.
Zarankiewicz K.: Astronautyka popularna. PWN 1959.
Zbiorowe: Przegląd techniki rakietowej. Zeszyty 42 i 43 Politechniki Warszawskiej rok 1961.

Książki w języku rosyjskim

Feodosjew W. I., Sinjarew G. B.: Wwiedienie w rakietnuju tiechniku. Oborongiz 1961.
Kurow W. D., Dołżańskij J. M.: Osnowy projektirowania porochowych rakietnych snariadow. Oborongiz 1962.
Lewinson J.: Aerodinamika bolszich skorostiej. Oborongiz 1950.
Zbiorowe: Awiamodelizm. Uczpedgiz 1960.

Książki w języku angielskim

Brinley B.: Rocket manual for amateurs. Ballantine NY 1960.
Gilmore H.: Model rockets for beginners. Harper NY 1961.
Ley W.: Rockets, missiles and space travel NY 1958.
Merril G.: Principles of guided missile design — V. Nostrand. Princenton 1958.
Parkin Ch.: Rocket Handbook for Amateurs. J. Day. N. York 1949.
Yates R.: Model jets and rockets for boys. Harper NY 1952.
Zbiorowe: Aeromodeller Annual. Model Aer. Press 1953.
Zbiorowe: A guide to amateur rocketry — Fort Sill Oklah. 1959.
Zbiorowe: Rocket experiment safety. Atlantic Research Corp. Wirg. 1958.
(Prospekt) — Jetex power unit — Wilmot Monsor Co 1950.

Książki w języku niemieckim

Gymnich A.: Modellbau. Carl Lange Verlag — Duisburg 1953.
Mielke H.: Raketentechnik. Verlag Technik 1960.
Zbiorowe: Modell-baubogen der Deutsche Raketen. Gesselschaft 1961.
Czasopisma (poszczególne roczniki)
Skrzydlata Polska, Młody Technik, Modelarz, Krylia Rodiny, Junyj Tiechnik, Letecký Modelar, Aerosvet, Aeromodelar, Jugend und Technik, Weltraumfahrt, Flugwelt, Modellbau und basteln, Aeromodeller, American Modeler, The Aeroplane and Astronautics.

Cena zł 18.—

WNT WYDAWNICTWA NAUKOWO-TECHNICZNE